

Återväxtkontroll med drönare
- Utvärdering av möjligheter och problem

Regrowth-control using drones
- *Evaluation of possibilities and problems*



Foto: Johan Ekenstedt

Victor Kingstad & Mårten Tovedal

Sveriges Lantbruksuniversitet
Institutionen för skogens ekologi och skötsel
Kandidatarbete i skogsvetenskap, 15 hp,
Handledare: Jonas Bohlin, SLU, Inst. för skoglig resurshushållning

Program: Jägmästarprogrammet

Kurs: EX0813 Nivå: G2E



Kandidatarbeten i Skogsvetenskap

Fakulteten för skogsvetenskap,
Sveriges lantbruksuniversitet

Enhet/Unit	Institutionen för skogens ekologi och skötsel Department of Forest Ecology and Management
Författare/Author	Victor Kingstad & Mårten Tovedal
Titel, Sv	Återväxtkontroll med drönare
Titel, Eng	<i>Regrowth-control using drones</i>
Nyckelord/ Keywords	<i>Återväxtinventering drönare inventering bildtolkning gimbal marklutning regrowth-control drone inventory ground slope image interpretation</i>
Handledare/Supervisor	<i>Jonas Bohlin, SLU, institutionen för skoglig resurshushållning</i>
Examinator/Examiner	Tommy Mörling Institutionen för skogens ekologi och skötsel/ Department of Forest Ecology and Management
Kurstitel/Course	Kandidatarbete i skogsvetenskap Bachelor Degree in Forest Science
Kurskod	EX0813
Program	Jägmästarprogrammet
Omfattning på arbetet/	15 hp
Nivå och fördjupning på arbetet	G2E
Utgivningsort	Umeå
Utgivningsår	2018

Förord

Detta kandidatarbete är genomfört inom ämnet skogshushållning vid institutionen för skoglig resurshushållning vid Sveriges Lantbruksuniversitet, Umeå. Det är utfört i samarbete med Sveaskog, Resultatområde Västerbotten. Kandidatarbetet omfattar 15 högskolepoäng på C-nivå. Ett stort tack riktas till personalen på Sveaskog Umeå som tagit sig tid och resurser för att tillhandahålla all nödvändig data, särskilt Johan Ekenstedt och Bo Ernstsson. Ett stort tack riktas också till handledare Jonas Bohlin som ställt upp med tips och bra handledning under arbetets gång. Dessutom riktas ett stort tack till alla som tagit sig tid att bildtolka drönbilder och på så vis möjliggjorde den här studien.

Sammanfattning

Återväxtkontroller genomförs för att tillgodose de krav som lag och skogsägare ställer på återbeskogning. Kontrollerna som idag genomförs manuellt i fält bör gynnas av en automatisering och digitalisering för att minska kostnaderna. I studien har bilder tagits med hjälp av en drönare från olika höjder och med cirklar motsvarande olika stora areor markerade på marken. Därefter inventerade testpersoner provytorna för att skapa ett underlag till en kontroll av identifieringsmöjligheterna för plantorna. Resultaten kontrollerades mot det facit som författarna upprättat vid manuell inventering i fält innan bilderna togs. Samband mellan identifierade plantor och dess höjd samt växtplats undersöktes för att motivera för och emot användningen av metoden på åtgärdsobjekt av olika ålder och markberedningstyp. Påverkan på arealangivelserna som uppstår då drönaren visar fel flyghöjd, har stor kameravinkel eller om marklutningen är stor beräknades. Felmarginalerna som togs fram användes sedan för att utvärdera rimligheten i att använda drönare givet de fel i vinkel och flyghöjd som uppskattades från de tagna bilderna. Resultat efter modellerad drönarintegrerad inventering pekar på möjlighet till effektivisering för återväxtkontroller.

Abstract

Regrowth-controls are utilized for meeting the demands stated by law, and forest owners themselves regarding reforestation. Today the controls are done manually in the field and should therefore be favored by implementing automatization and digitalization to reduce costs. The study use images taken using a drone from different heights and circles corresponding to different areas that are highlighted on the ground. More or less experienced image interpreters then interpret the images, collecting data which is used to evaluate the possibility of finding seedlings. The results are then compared to the results of the inventory carried out in the field by the authors before the images were taken. Correlation between the seedlings tendency to be discovered, and their height and locus were examined to motivate the use, or not, of the method in different scarification types and seedling ages. The effect on area that an error in flying height, camera angle or ground slope has, were theoretically calculated. The results were then used to evaluate the plausibility of using drones given the error in camera angle and flying height estimated from the images taken. Results from the modeled drone integrated plant inventory methods point to a possible prospect of streamlining the regrowth-control by implementing drones.

Innehållsförteckning

Förord.....	3
Sammanfattning.....	4
Abstract.....	5
Innehållsförteckning.....	6
1 Inledning.....	8
1.1 Bakgrund.....	8
1.2 Varför återväxtkontroll.....	8
1.3 Genomförande idag.....	9
1.4 Varför byta metod.....	9
1.5 Tidigare fjärranalysstudier inom återväxtkontroll.....	9
1.6 Identifierat behov.....	10
1.7 Nya möjligheter.....	10
1.8 Förslag på drönarintegrerad inventeringsmetod.....	11
1.9 Syfte.....	11
2 Material.....	12
2.1 Studieområde.....	12
2.2 Fältinventering av plantor.....	12
2.3 Drönarflygning.....	13
2.3.1 Drönare.....	13
2.3.2 Flygplanering.....	13
2.4 Data till simulerad inventering.....	13
2.4.1 Flygtid.....	14
3 Metod.....	15
3.1 Skalning av bilderna.....	15
3.2 Projicering av provytearea i bilden.....	16
3.3 Arealfel beroende på höjd.....	17
3.4 Arealfel beroende på kameravinkel.....	19
3.5 Arealfel beroende på marklutning.....	21
3.6 Bildtolkning.....	23
3.7 Sambandet mellan identifierad planta och dess höjd samt position.....	23
3.8 Simulerad inventering.....	23
4 Resultat.....	24
4.1.1 Effekten av missvisande flyghöjd.....	24
4.1.2 Kameravinkel, markens lutning och dess påverkan på avbildning.....	27
4.2 Bildtolkning.....	30
4.2.1 Samband med planthöjd.....	30
4.2.2 Samband med markberedningspunkt.....	30
4.2.3 Totalinventering i provyta.....	31

4.2.4	Tidsåtgång bildtolkning	31
4.3	Kostnadskalkyl.....	32
5	Diskussion.....	34
5.1	Projiceringens precision.....	34
5.2	Bildtolkning	35
5.3	Kostnad och tid för simulerad drönanintegrerad återväxtkontroll.....	36
5.4	Slutsatser	36
5.5	Framtida möjligheter	37
6	Litteraturförteckning	38
6.1.1	Muntliga källor.....	39
7	Bilageförteckning	40

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Efter förnygringsavverkning i skog kommer plikt om återbeskogning för markägare (SVL 2014:890, 5§). För att säkerställa att ny skog ersätter den som tidigare fanns på marken är det brukligt att utföra inventeringar i olika utvecklingsstadier för den nyanlagda skogen. Inventering av plantor och ungskog till fots i fält kostar mycket tid och pengar att utföra. Försök med helikopter har gjorts med blandad framgång för att effektivisera sådan inventering (Orgum 2008, Sylvander 1985).

Idén till den här inventeringsmetoden väcktes av en säsongsanställd på Sveaskog som utförde dessa inventeringar till fots. Resultatet av sådana inventeringar ger beslutsunderlag, i form av huvudplantor/ha och aritmetisk medelhöjd, till att bedöma lämplig tidpunkt för nästa åtgärd. Vid återväxtkontroll är det huvudsakliga målet att snabbt finna objekt som behöver hjälp- eller omplantering (Ernstsson 2017). Vid inventering i ungskog vägs höjden och stamantal per hektar lika. Bedömningen gjordes att utmaningen att identifiera 2–3-åriga plantor var större än att identifiera stammar i ungskog. Då blev det naturligt att designa en metod som testas på plantor i vilket syftet blott är att räkna antalet plantor/ha, den metoden bör sannerligen vara användbar för ungskog också.

Detta arbete har således utformats för att utvärdera möjligheten till bildtolkning av statistiska bilder från lågt flygande drönare, vilket förhoppningsvis också ska ge viss insikt till möjligheter att med hjälp av drönare inventera skog i andra utvecklingsklasser. För att göra studien jämförbar med exempelvis helikopterinventering så har hela den föreslagna inventeringsmetoden simulerats för verkliga åtgärdsobjekt i Västerbotten, vilket innefattar bilkörning, drönarflygning, bildtolkning och förutsägbara dröjsmål i samband med detta.

1.2 Varför återväxtkontroll

En återväxtkontroll är intressant, inte endast för att det är ett lagkrav, det ligger även i en skogsägares intresse för att maximera tillväxt och den ekonomiska vinningen i sitt skogsägarande. Återväxtkontroller innebär att antalet vitala plantor räknas av föredraget trädslag inom ett område som tidigare åtgärdats med syfte att det ska återbeskogas. Kontrollen genomförs för att försäkra sig om att det finns förutsättningar till att ett bestånd med god timmerkvalitet ska kunna utvecklas. Återväxtkontrollen ger inventeraren beslutsstöd för att bedöma vad som är nästa åtgärd och när det bör ske (Ernstsson 2017).

I skogsvårdslagen fastställs det att det ska finnas tillräckligt med huvudplantor för att skogen i framtiden ska ha en tillfredställande täthet, samt att de ska vara jämnt fördelade (2 kap. §6 forskrifter §6 SVL). Det faktiska antalet plantor som ska finnas är reglerat i tabell och beror på ståndortsindex och huruvida skogen är belägen fjällnära eller inte (allmänna råd 2 kap. §6 forskrifter §6 SVL), bilaga 1. För att tillgodose att huvudplantorna är jämnt fördelade är nollytor definierat som en provyta som saknar huvudplantor inom en radie av 3 meter. Andelen nollytor får vara max 20 % för ståndortsboniteter lägre än T14 respektive G22, och max 10 % om det är högre bonitet (2 kap. §13 forskrifter §6 SVL). Begreppet huvudplantor används för att de träd som räknas in ska ha rätt kvaliteter för att kunna utvecklas väl och vara lämpliga för beståndet (2 kap. §8 forskrifter §6 SVL).

1.3 Genomförande idag

Den konventionella metoden för återväxtkontroll genomförs okulärt i fält, en metod som kräver ett stort antal inventerare och både ekonomiska och tidsmässiga resurser. Antalet hektar som varje år inventeras är stort och det är därför av intresse att minimera resursåtgången för inventeringen.

Kostnaden ligger mellan ca 82 – 100 kr/ha (Ernstsson 2017; Svensson 2006). Under sommaren 2017 förväntades en inventerare i Västerbotten på Sveaskog utföra 20–25 hektar återväxtkontroller per dagsverke (Ernstsson 2017). Metoden är simpel, ett rutnät på 50 x 50 m läggs över lämpligt geodata i GIS-program som visar bakgrund av objekt. GPS integrerat i läsplatta används till navigering, orienterat av geodatabakgrund. Rutnätets skärningspunkter ger systematiska provytor. Inventeraren placerar sig i mitten på varje provyta, håller ena änden av ett 252 cm långt spö över provytopunkten. Därifrån räknas upp till åtta huvudplanter inom spöets räckvidd i en cirkelarea på 20 m², samtidigt uppskattas medelhöjd med ögonmått. Om huvudplanta ej finns inom provyta men inom 3 m från mittpunkt så tilldelas provytan 1 huvudplanta (Ernstsson 2017).

1.4 Varför byta metod

Om kostnaden för återväxtkontroll skulle minska med 40 % skulle Sveaskog i Västerbottens län med antagen årsyta på 7080 ha spara 300 000 kr/år. I Västerbotten avverkas ca 30 000 ha/år vilket ger en potentiell kostnadsminskning med 1 200 000 kr/år. Nationellt avverkas ca 250 000 ha årligen vilket ger en potential på 10 000 000 kr/år vid en besparing på 40 kr/ha. Inventering av planter och ungskog till fots i fält kostar alltså mycket tid och pengar att utföra. Att minska omfattningen av återväxtkontrollen och endast samla in tillräckligt med beslutsunderlag för att avgöra nästa åtgärd borde vara tillräckligt bra. Gränsvärdet för hjälpplantering kan dock vara svårt att sätta eftersom en sådan åtgärd är kostsam och sällan framgångsrik (Ernstsson 2017). De relativt höga krav som står att finna i bilaga 1 försöker majoriteten av skogsägarna klara av utan naturlig föryngring, dock räddas ofta en misslyckad plantering av naturligt föryngrade planter (Ernstsson 2017). Det får till följd att en bedömning måste göras huruvida hjälpplantering eller omplantering kan försvaras ekonomiskt. Andelen nollytor måste också beaktas för att följa SVL. Enligt Ernstsson (2017) blir ett objekt med 1200 planter/ha vid en återväxtkontroll sällan föremål för hjälpåtgärd, därför har också denna studie anammat den begränsningen.

1.5 Tidigare fjärranalysstudier inom återväxtkontroll

Redan på 1960-talet gjordes försök i USA med återväxtkontroll i flygbilder (Smith 1964, Bernstein 1974) och i Sverige på 70-talet (Sylvander 1985), följt av Kanada på 80-talet (Kirkby 1980). Tidigare varianter på fjärranalys av plantinventering har lyckats relativt väl med plantidentifiering men misslyckats med att konkurrera med kostnaden för den konventionella inventeringen. Tidigt 80-tal användes en helikoptermonterad Hasselbladskamera från 10 m höjd. Efter bildtolkning och jämförelse med konventionell inventering konstaterades att plantantalet på de 2-åriga plantorna underskattades med 15–25 %. Kostnaden för helikopterinventeringen var ca 250 % större än den konventionella inventeringen (Sylvander 1985). Noggrannheten för den laserhöjdmätare som användes var $\pm 0,1$ m i den tillämpade metoden. Holmen skog (Orgum 2008) landade på en beräknad kostnad för helikopterbaserad återväxtkontroll med bildtolkning på 175 kr/ha, vilket kan jämföras med deras dåvarande kostnad för konventionell inventering; 100 kr. I den metoden underskattades

som mest ett av bestånden med 46 %, men sammantaget erhöles tillfredstillande noggrannhet från bildtolkningen för beslutsfattande (Orgum 2008).

1.6 Identifierat behov

Med ökad kostnad för arbetskraft över tid kommer incitament till investering i teknologi för effektivisering. Kraftigt ökade arbetsgivaravgifter sedan 1970, relativt KPI (Ekonomifakta, 2018), motiverar företag till att minimera personalkostnaden. Samtidigt som arbetskraften blir dyrare blir tekniken billigare och mer tillgänglig. Förvärvande av högkvalitativa bilder idag är möjligt till en bråkdel av kostnaden för motsvarande kvalitet jämfört med 40 år sedan, ändå utförs inventeringen till fots med kompass, med förändringen att GNSS som GPS finns till stöd för navigering. Den statliga skogsvårdsorganisationen har gjort uppföljningar på återväxten sedan början av 1960-talet, åtminstone sedan 1975 har Skogsstyrelsen utfört återväxttaxering med i princip samma metod som används idag (Skogsstyrelsen, 2017, Ekelund, H, Hamilton, G 2001).

1.7 Nya möjligheter

Fotografering med drönare används idag i många branscher inkluderat skogliga analyser för att få översiktliga och detaljrika bilder över stora ytor på kort tid (Tang, L. & Shao, G., 2015.) Drönare utrustas med GPS-positionering som gör att de kan programmeras att lokalisera förutbestämda GPS-punkter i landskapet, i x-, y- och z-led. Flygrutt kan planeras och programmeras från kontor i mjukvara som kombinerar geografisk information med drönarprogrammering för att sedan låta drönaren flyga autonomt till angivna punkter på ett objekt där fotografering kan ske på förutbestämd höjd. Transportstyrelsens luftfartsregler måste beaktas, för drönare innebär det bl.a. att drönaren måste vara inom synhåll för piloten utan hjälpmedel som exempelvis kikare (Transportstyrelsen 2018).

Upplösningen på bilder ifrån de kameror som drönarna kan utrustas med är idag ingen teknisk begränsning då större drönare klarar större monterade digitalkameror samtidigt som kamerorna i sig går att göra små men ändå ge högkvalitativa fotografier. Det finns inget formellt krav på utbildning för att flyga drönare upp t.o.m. 7kg. Vem som helst kan lära sig och det krävs inte heller någon specialutrustning för bildtolkning i vanliga enkla RGB-bilder. Endast någon form av dator och skärm, utrustningen som används till det här arbetet kan inhandlas till en kostnad under 30 000 kr.

1.8 Förslag på drönarintegrerad inventeringsmetod

Drönare programmeras till att flyga och fota självständigt samtidigt som pilot utför inventering på del av objekt, med uppsikt över drönare. Objekt delas upp så att tiden för okulär inventering i fält är lika med tiden för drönarflygning. Ett rutnät på 50 x 50 m läggs över lämpligt geodata i GIS-program som visar bakgrund av objekt. GNSS används till navigering orienterat av geodatabakgrund. Drönare hänvisas att flyga endast i delar av objekt som varit föremål för åtgärd som medför uppföljning. Rutnätets skärningspunkter ger systematiska provytor till både drönare och pilot. För återväxtkontroll noteras upp till tre plantor per 20 m² provyta samt deras estimerade medelhöjd med ögonmått. Efter avslutad fältinventering laddas drönarbilder upp till molntjänst för ortorektifiering. Från GIS-program importeras och bildtolkas drönarbild-provytor för att tillsammans med fältinventering avgöra behov av hjälpplantering samt rekommendera bästa tid för nästa åtgärd. Fältinventeringen ger information om planthöjd, vilket saknas i bildtolkningen Även för bildtolkningen räknas max 3 huvudplantor per provyta vilket innebär 1500 plantor/ha, som här avser att utesluta hjälpplantering.

1.9 Syfte

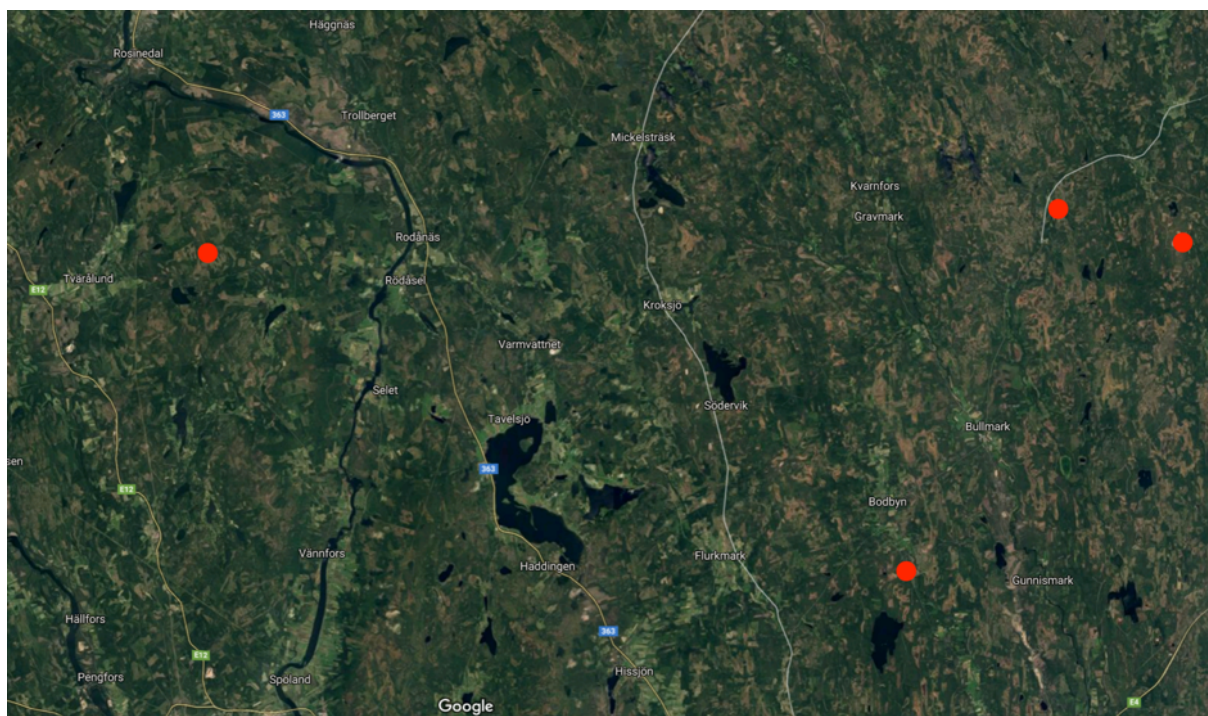
1. Utvärdera skattningens noggrannhet på arealen av den i flygbilden projicerade provytan.
2. Utvärdera möjligheten att identifiera huvudplantor för att kunna utesluta hjälpplantering.
3. Undersöka om det finns något samband mellan lyckad identifiering av planta och plantans höjd eller planteringspunkt.
4. Jämföra metodens skattade inventeringskostnad med kostnaden för konventionell metod.

2 Material

2.1 Studieområde

Tio kalavverkade objekt valdes subjektivt ut för studien. De ligger alla inom fem mils radie nordnordväst om Umeå.

Objekten planterades ett till två år innan inventering med antingen tall, gran eller en blandning av de två. Provyta 1 benämns p1, provyta 2 benämns p2, o.s.v.



Figur 1 Karta över fältförsök. P1-3 i östra delen, P4-10 visas som en punkt i västra delen (Google Maps, 2018).
Figure 1 Map showing field trials. P1-3 in the eastern part, P4-10 viewed as a single point in the west (Google Maps, 2018).

2.2 Fältinventering av plantor

Olika typer av mark med avseende på markberedningstyp, fuktighet och bonitet valdes för att få ett dataunderlag som täckte de vanligaste marktyperna som kan hittas i Västerbotten. På varje objekt valdes en yta ut subjektivt för att data skulle innefatta varierande egenskaper avseende markberedningspunkter och vegetation. Alla tio provytor märktes ut med sprayfärg; en mittpunkt, norrindikator och två cirklar med arean 20 m² och 50 m² (bilaga 2). Ett måttband fästes på centrumpinne och marken sprayades vid markering för 252 cm och 399 cm.

Tre av ytorna totalinventerades manuellt innan fotografering och data fördes över position, trädslag och höjd på plantorna samt om växtpunkten låg i markberedningspunkt från högläggning, harvsspår eller annat (tabell 1). Varje yta finkammades efter plantor över 5 cm med start vid norrmarkering noggrant letandes inåt, en cirkel i taget, medsols.

Tabell 1 Förteckning över identifierade plantor på provyta 1-3

Table 1 List of identified seedlings in sample plot 1-3

Yta	1	2	3
Plantor	24	12	27
Antal i markberedningspunkt	6	4	20
Antal ej i markberedningspunkt	18	8	7
Antal gran	10	0	0
Antal tall	14	11	27
Medelhöjd (cm)	11,3	21,8	20,6

2.3 Drönarflygning

2.3.1 Drönare

Till inventeringen användes quadcoptern DJI Phantom 4 Pro med en 20 mp kamera upphängd på gimbal som har till uppgift att rikta kameran i nadir. Enligt tillverkaren DJI har drönaren $\pm 0,1$ m säkerhet i vertikal positionering med hjälp av ultraljud som aktiveras 10 m från marken. (DJI 2018). Tillverkarens värden har för övrigt styrkts av ett fälttest som gjordes med hjälp av en avståndsmätare från Leica. Kameran är monterad i en gimbal som syftar till att rikta kameran mot marken, eg. gravitationen. Vinklar i tre dimensioner används för att förklara kamerans riktning; pitch, roll och yaw. Pitch och roll är de vinklar som kan interferera med höjdmätningen, då det är avståndet mellan linsen och marken som ska användas till höjdmätning. Inte avståndet mellan höjdmätaren och marken om dessa skiljer sig åt.

2.3.2 Flygplanering

Drönaren flögs manuellt och positionerades godtyckligt i provytecentrum. Sedan fotograferades alla tio ytor från lägsta möjliga säkra höjd där 20 m²-ytan var synlig samt högsta möjliga höjd med ultraljud som höjdmätare. Det var vid 7- och 9,5 meters höjd. 9,5 m avrundades till 10 m i resten av arbetet. Beräkningar har gjorts på 10 m för p1-p3, sedan 9,5 m för p4-p10). Dessutom flögs och fotades alla objekt med 60 % överlapp på 40 meters höjd för att kunna möjliggöra fotogrammetriska analyser av provytorna.

2.4 Data till simulerad inventering

För kostnadsberäkning har data erhållits från Sveaskog, 119 objekt från kustområdet med utgångspunkt i Vindeln har använts. Arbetstiden är satt till 8 timmar per dag.

Återväxtkontrollskostnad för Sveaskog RO Västerbotten ”är klart bäst i klassen vad gäller prestation, kostnader samt kvalitet och trots att den utförs strikt objektivt” (Ernstsson 2018). De uppgifter som ligger till grund för beräkningar i kostnadsjämförelsen är medeldistans 80 km/dag, 22,5 ha utförd återväxtkontroll per dagsverke, milersättning på 31 kr/mil, medel-inventerarlön 131,5 kr/h och arbetsgivaravgift och sociala kostnader på 69,1 kr/h.

2.4.1 Flygtid

Inflygning beror på avstånd mellan startplats och provytepunkt. 5 m/s är lämplig flyghastighet vilket innebär 20 sekunder för 100 m som är en tänkbar sträcka från parkering till provyta. Fotoflygning för en van drönarpilot tar 10 sek mellan provytor och 5 sek för fotografering, vilket resulterar i nio minuter. Utflygning tar ungefär samma tid som inflygning (Ekenstedt 2018).

Sammanlagd tid flygning av 10 ha blir då 40 sekunder för in- och utflygning samt 9 minuter för fotoflygning, vilket innebär 58 sekunder/ha. Batteribyte efter 23 minuter adderar ny in- och utflygning, satt till 5 min. Vid sex timmars aktivt arbete flygs och tolkas 140 ha med 78 minuter avsatt till drönarservice; batteribyte etc.

3 Metod

3.1 Skalning av bilderna

Skalan beräknades genom skalning av pixlarna. Data på sensorns storlek och kamerans brännvidd hämtades från tillverkarens hemsida (tabell 2). Bildernas storlek i pixlar avlästes i metadata för varje bild.

Tabell 1 Specifikationer för drönaren(www.dji.com)

Table 2 Specifications of the drone (www.dji.com)

Drönare	Dji Phantom 4 pro
Höjd sensor (mm)	8,8
Bredd sensor (mm)	13,2
Brännvidd (mm)	8,8



Figur 2 Bildernas storlek i pixlar.

Figure 2 The size of the images in pixels.

Sambandet mellan diagonalen på sensorn och brännvidden, och diagonalen på bilden och flyghöjden användes för att räkna ut meter per pixel.

$$\frac{d_{sensor}}{f} = \frac{d_{avbild}}{h}$$

$$\frac{d_{sensor}}{f} * h = d_{avbild}$$

$$\frac{d_{avbild}}{dp_{avbild}} = skalfaktor$$

d_{sensor} = kameran sensorns diagonal i mm

d_{avbild} = markens diagonal i avbilden i m
 dp_{avbild} = markens diagonal i avbilden i pixlar
 h = flyghöjden i meter
 f = kamerans brännvidd i mm
 $skalfaktor$ = meter per pixel

3.2 Projicering av provytearea i bilden

De utmärkta cirkelarna från provytorna mäts på bilderna i pixlar i ArcMap och omvandlas till meter. De faktiska radierna omräknas till area för att beräkna arealfelet som föreligger relativt mot den eftersökta arean.

$$r_{avbild} * skalfaktor = r_{faktisk}$$

$$r_{faktisk}^2 * \pi = a_{faktisk}$$

r_{avbild} = cirkelns radie i avbilden i pixlar
 $r_{faktisk}$ = cirkelns faktiska radie i m
 $skalfaktor$ = meter per pixel
 $a_{faktisk}$ = faktisk area för varje cirkel och provyta i m²

De faktiska radierna divideras med korrekt radie för att få fram en faktor för omvandling av bildens diagonal. Korrekt diagonal på bilden divideras med faktorn och används för att beräkna den faktiska flyghöjden för provytan.

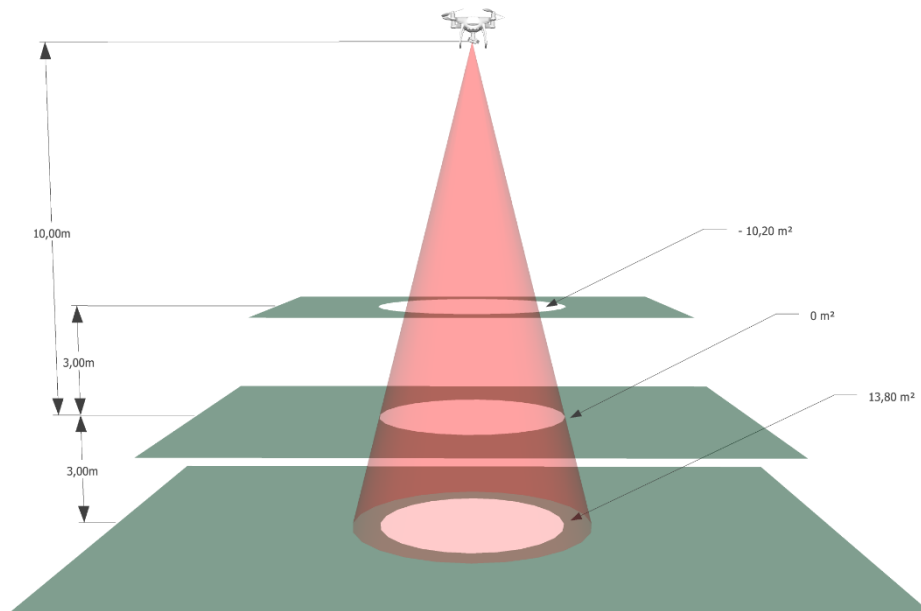
$$\frac{r_{faktisk}}{r_{korrekt}} = c$$

$$\frac{d_{avbild}}{c} / \frac{d_{sensor}}{f} = h_{faktisk}$$

$r_{korrekt}$ = radie motsvarande den sökta arean, i m
 c = omvandlingsfaktor
 d_{avbild} = markens diagonal i avbilden i m
 d_{sensor} = kamerascensorns diagonal i mm
 $h_{faktisk}$ = den faktiska flyghöjden för varje bild
 c = omvandlingsfaktor
 f = kamerans brännvidd i mm

3.3 Arealfel beroende på höjd

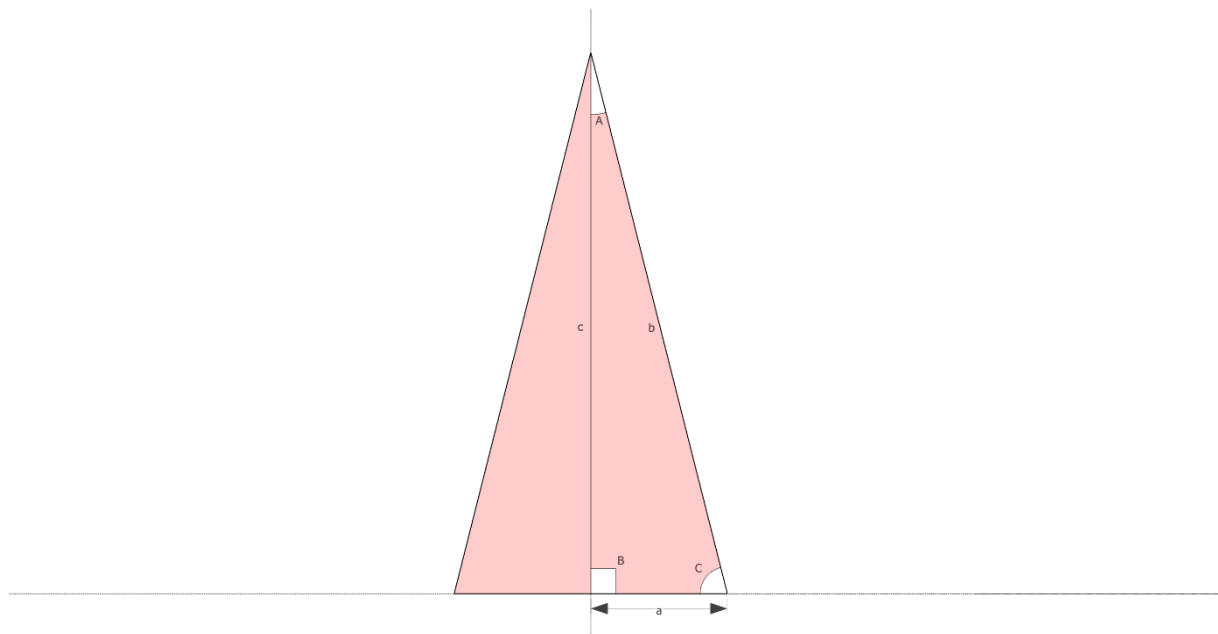
Beroende på höjdmätarens noggrannhet och träffpunkten för mätningen kan flyghöjden variera från den angivna. En högre höjd innebär att arean blir större än önskat och en höjd som är lägre än angivet innebär en mindre area (Figur 3).



Figur 3 Förändring av cirkelarean vid missvisande flyghöjd. Röd kon visualiserar mask som används för att mäta ut 20 m² i bilden. Tre olika bilder på höjd 7, 10 & 13 meter. Hålet i bilderna motsvarar 20 m², areaangivelsen visar hur mycket arean skiljer vid de olika höjderna.

Figure 3 The change in area when wrong flying height is shown. Red cone visualizes the mask that is used to measure 20 m² in the image. Three different images taken from heights 7, 10 & 13 meters. The hole in the images corresponds to 20 m², the given numbers show how much the area differs.

För att beräkna skillnaden i area för olika höjder användes sinussatsen



Figur 4 Röd area visualiserar mask som kameran kastar tvådimensionellt.

Figure 4 Red area visualizes the mask two-dimensionally.

$$a = \frac{c}{\sin(C)} * \sin(A)$$

$$a^2 \pi = area_{faktisk}$$

a = radien av cirkeln på marken i m

c = flyghöjd i m

$area_{faktisk}$ = arean av cirkeln på marken

A = halva vinkeln som en mask motsvarande önskad area kastar vid önskad höjd

Funktionen för arealfel beroende på höjdfel:

$$\left(\frac{h+b}{\sin\left(90-\tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{a}}{h}\right)\right)} * \sin \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{a}}{h}\right) \right)^2 \pi - a = arealfel \text{ i } m^2$$

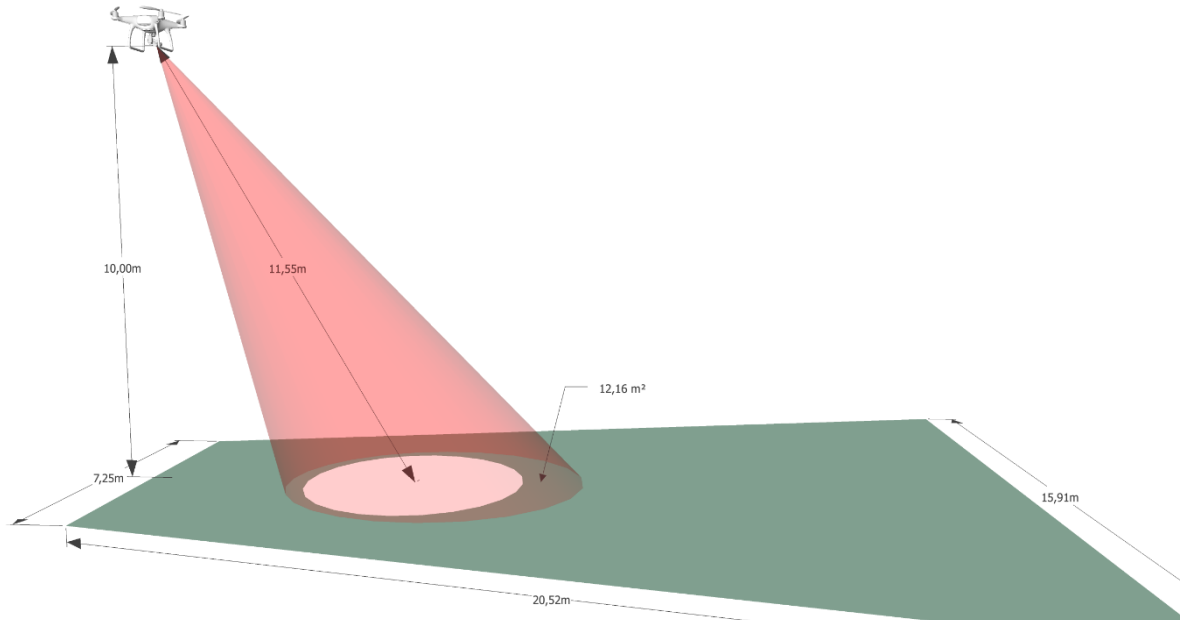
h = den önskade flyghöjden i meter

b = höjdfelet i meter

a = den önskade arean i m^2 som masken ska motsvara på marken

3.4 Arealfel beroende på kameravinkel

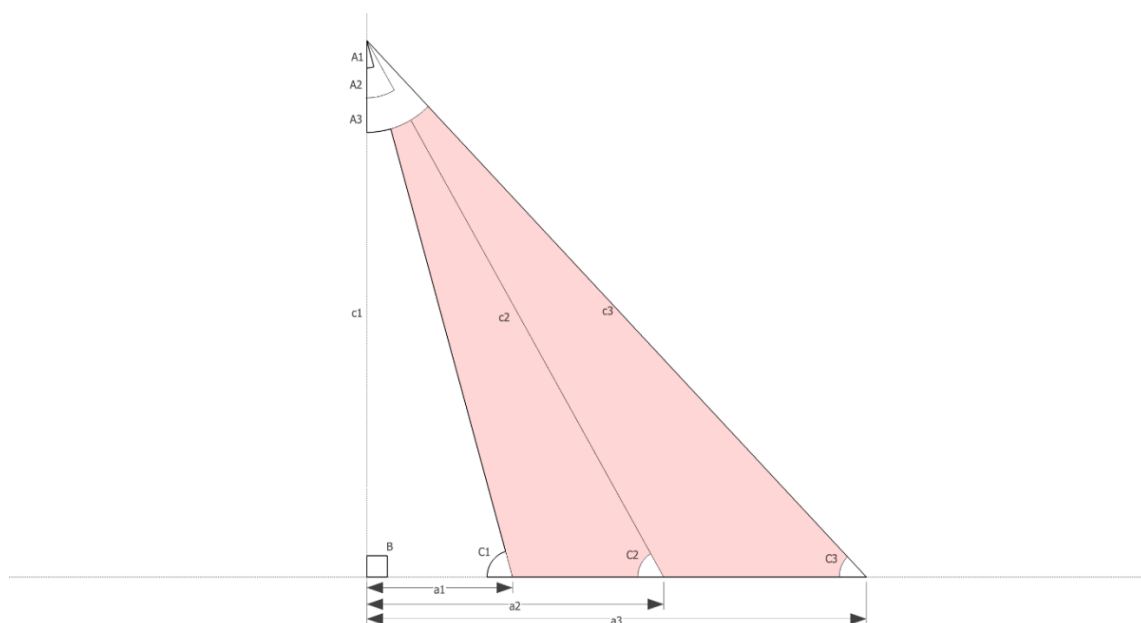
Om gimbalens pitch och roll inte är lodrät projiceras masken inte som en cirkel mot marken utan som en ellips där konjugataxeln är större än diametern på cirkeln motsvarande 20 m^2 , på grund av höjdfelet som uppstår då höjdmätningen sker lodrätt från drönarens kropp. Arealen ökar med ökad vinkel.



Figur 5 Förändring av cirkelarean vid 30 graders vinkel hos gimbalen (21,2 grader roll, 21,2 grader pitch). Röd kon visualiserar mask som används för att mäta ut 20 m^2 i bilden. Bild tagen från 10 meters höjd. Hålet i bilden motsvarar 20 m^2 , areaangivelsen visar hur mycket arean skiljer från 20 m^2 .

Figure 5 The change in area when the gimbal is tilted 30 degrees (21,2 degrees roll, 21,2 degrees pitch). Red cone visualizes the mask that is used to measure 20 m^2 in the image. Picture taken from 10 meters height. The hole in the image corresponds to 20 m^2 , the given number show how much the area differs.

Den kända vinkel som en mask ger vid given höjd och area användes för att beräkna arealfel vid ökad gimbalvinkel.



Figur 6 Röd area visualiserar masken som kameran kastar tvådimensionellt.
Figure 6 Red area visualizes the mask two-dimensionally.

$$A3 - A1 = \arctan\left(\frac{2r_{korrekt}}{c1}\right) = v$$

$$180^\circ - A1 - B = C1$$

$$\frac{c1}{\sin(C1)} * \sin(A1) = a1$$

$$A1 + v = A3$$

$$180^\circ - A3 - B = C3$$

$$\frac{c1}{\sin(C3)} * \sin(A3) = a3$$

$$a3 - a1 = a2$$

$$\frac{a2}{2} = r_{transversal}$$

Konjugataxeln på ellipsen beräknas utifrån avståndet c2 från drönaren till centrum av ellipsen på marken.

$$\sqrt{(a1 + a2)^2 + c^2} = c2$$

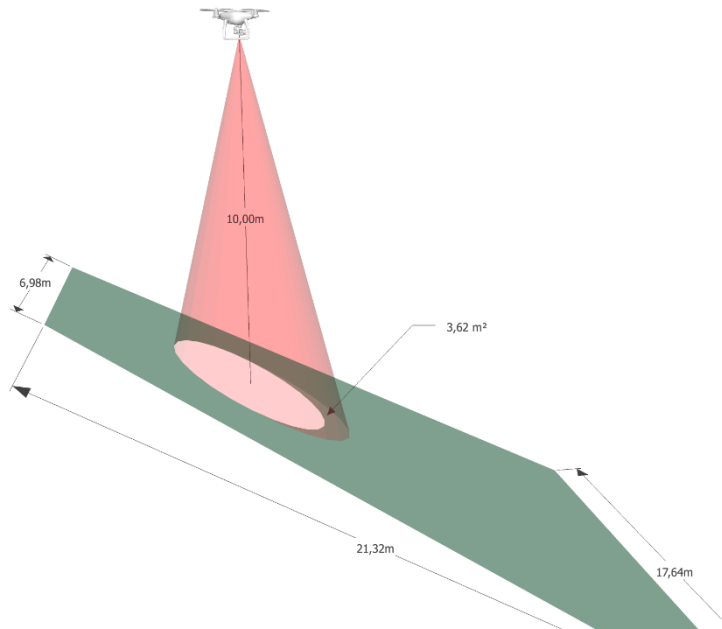
$$\frac{c2}{c1} * r_{korrekt} = r_{konjugat}$$

Arean i m² på den faktiska cirkeln vid gimbalvinkel A2

$$r_{konjugat} * r_{transversal} * \pi = area_{faktisk}$$

3.5 Arealfel beroende på marklutning

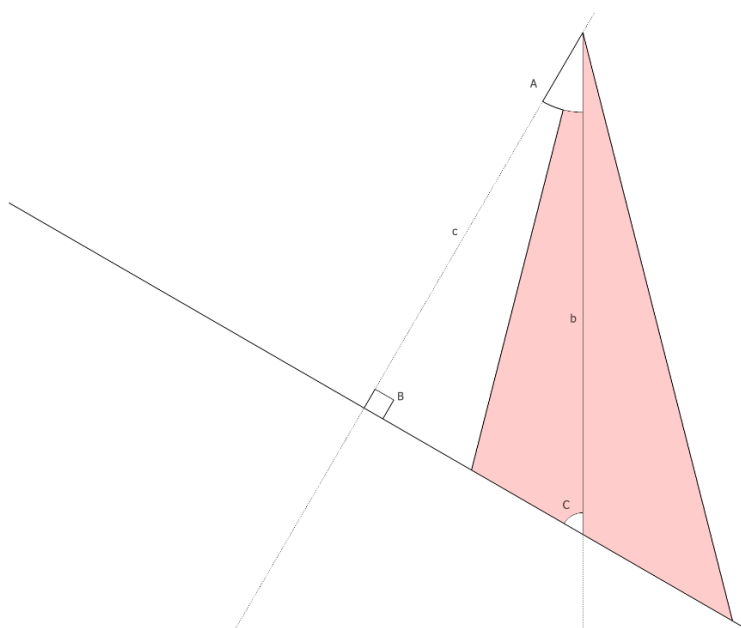
Om marklutningen $\neq 0$ grader projiceras masken som en ellips istället för en cirkel. Arealen ökar med ökad vinkel.



Figur 7 Förändring av cirkelarean vid 30 graders marklutning. Röd kon visualiserar mask som används för att mäta ut 20 m² i bilden. Bild tagen från 10 meters höjd. Hålet i bilden motsvarar 20 m², areaangivelsen visar hur mycket arean skiljer från 20m².

Figure 7 The change in area when the ground slope is 30 degrees. Red cone visualizes the mask that is used to measure 20 m² in an image. Picture taken from 10 meters height. The hole in the image corresponds to 20 m², the given number show how much the area differs.

Marklutningen beräknas på samma sätt efter att avståndet marken, vinkelrätt mot drönaren tas ut. I beräkningarna byts c1, flyghöjden i gimbalfunktionen ut mot det nya avståndet c.



Figur 8 Beräkning av nytt c1 värde. Röd triangel visualiserar den kon som masken kastar tvådimensionellt.
Figure 8 Calculating a new c1. Red area visualizes the mask two-dimensionally.

$$180^\circ - A - B = C$$

$$\frac{b * \sin(C)}{\sin(B)} = c$$

$$A3 - A1 = \arctan\left(\frac{2r_{korrekt}}{c1}\right) = v$$

$$180^\circ - A1 - B = C1$$

$$\frac{c1}{\sin(C1)} * \sin(A1) = a1$$

$$A1 + v = A3$$

$$180^\circ - A3 - B = C3$$

$$\frac{c1}{\sin(C3)} * \sin(A3) = a3$$

$$a3 - a1 = a2$$

$$\frac{a2}{2} = r_{transversal}$$

Konjugataxeln på ellipsen beräknas utifrån avståndet c2 från drönaren till centrum av ellipsen på marken.

$$\sqrt{(a1 + a2)^2 + c1^2} = c2$$

$$\frac{c2}{c1} * r_{korrekt} = r_{konjugat}$$

Arealen i m² på den faktiska cirkeln vid gimbalvinkel A2

$$r_{konjugat} * r_{transversal} * \pi = a_{faktisk}$$

3.6 Bildtolkning

Bildtolkarna hade varierande erfarenhet av bildtolkning och okulär inventering i fält. De inventerade efter instruktionen att de under kortast möjliga tid skulle identifiera tillräckligt många plantor för att utesluta hjälpplantering. Bilderna från 40 meters höjd uteslöts ur inventering på grund av uppenbara svårigheter att se plantor.

Gränsvärdet på 1200st/ha motsvarar minst 3 plantor i den inre cirkeln på 20 m² eller om det inte gick att finna tillräckligt i den inre, minst 6 plantor i den inre tillsammans med den yttre cirkeln, motsvarande 50 m². Vid bilder från 7 m tolkades endast den inre cirkeln, 20 m². Tidsåtgång noterades för varje bildtolkare, för varje provyta.

Data över placering av varje planta på de totalinventerade ytorna fördes över till bilderna i ESRI's ArcMap där de märktes ut för att få ett facit att jämföra vilka plantor som gick att identifiera och ifall det fanns ett samband mellan inmätt höjd, eller planta i markberedningspunkt, och identifierbarhet.

3.7 Sambandet mellan identifierad planta och dess höjd samt position

Vidare illustrerades hur lätt det var att identifiera en planta och dess höjd, samt huruvida den växte i en markberedningspunkt eller inte. Identifieringsgraden plottades mot höjden hos respektive planta för att få fram en trendlinje. För samband mellan plantornas identifieringsgrad och huruvida de växte i en markberedningspunkt eller ej skapades ett låddiagram för att se fördelningen kategoriskt.

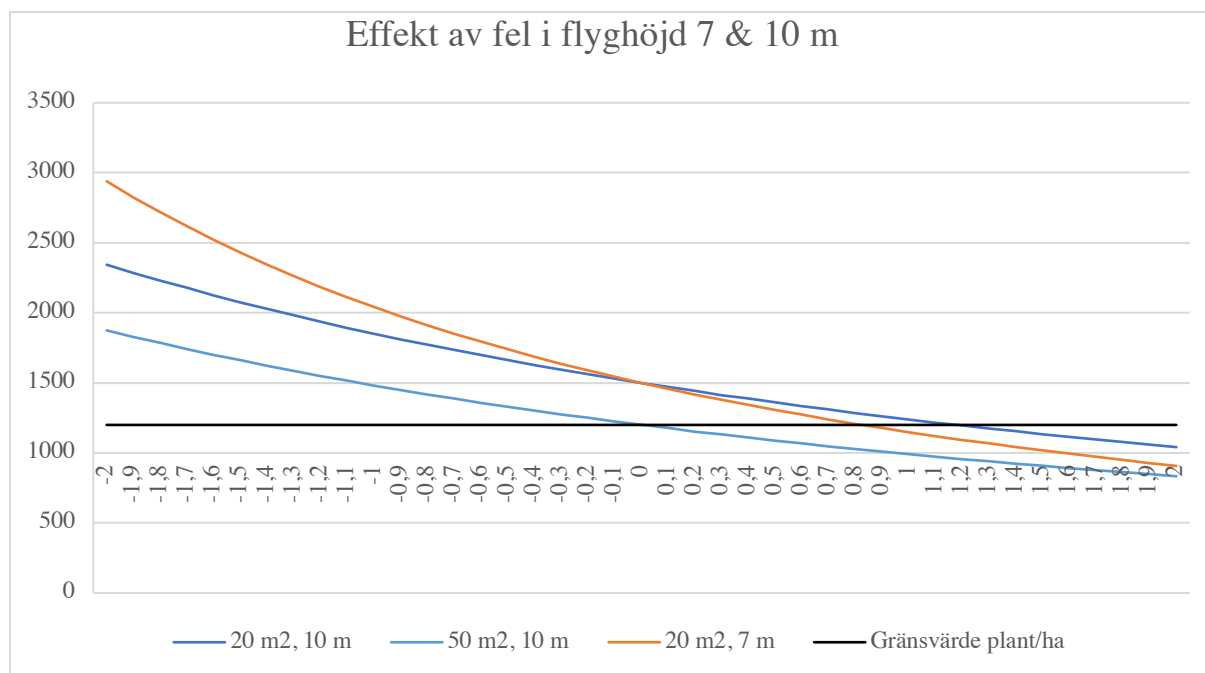
3.8 Simulerad inventering

För att ge underlag till kostnadsberäkning gjordes en GIS-analys i ESRIS Arc map. För instruktion om metod för ruttoptimering se bilaga 3. Parametrar som användes till kostnad för tid och sträcka var; 3,34 kr/min, 3,10 kr/km. Medelhastighet på rutter sattes till 60 km/h. För enkelhetens skull, har inte avdrag gjorts för yta som inte drönare behöver flyga, d.v.s. där pilot inventerar enligt konventionell metod parallellt med drönare som flyger autonomt. Det verkade onödigt att addera osäkra data till modellen, eftersom det försvårar utvärderingen av resultatet (Crosetto et.al. 2000). Tid per objekt begränsades till minimum fem minuter för det verkade orimligt, trots små åtgärdsobjekt, att utföra inventering på under fem minuter. Dessutom adderades fem minuter efter 23 minuters flygtid, avsatt för batteribyte. Vid modellering av konventionell metod där 16 min/ha är medel, (Ernstsson (2017), tilläts arbetstiden överskrida åtta timmar per dag i fyra dagar, trots endast ett fältbesök. Beroende på lång sträcka och/eller stor areal på objekt.

4 Resultat

4.1.1 Effekten av missvisande flyghöjd

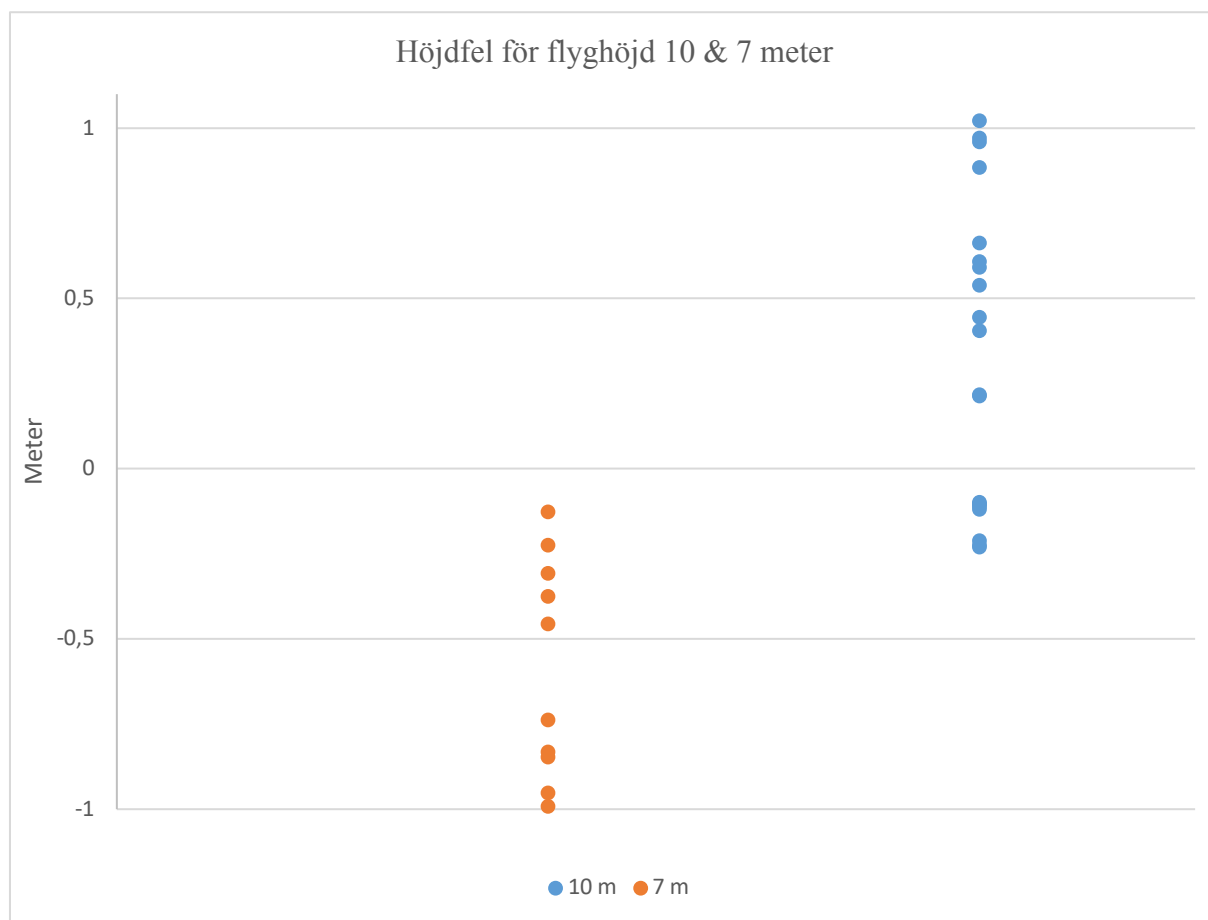
Ett fel på ± 2 m vid en flyghöjd på 10 meter och 3 st. inräknade huvudplantor inom en cirkel på 20 m² överskattar eller underskattar antalet plantor per hektar med 850 respektive 450 st. (figur 9).



Figur 9 Variation av plantor per hektar beroende på om flyghöjden visar upp till 2 m för högt eller 2 m för lågt. Beräknat på 10 m flyghöjd, 3 st plantor i en cirkel på 20 m², 6 st plantor i en cirkel på 50 m² och 1200 plantor/ha som gränsvärde för hjälpplantering.

Figure 9 Variation in plants per hectare depending on whether the flying height shown is up to 2 m too high or too low relative to the correct value. Calculated on a flying height of 10 m, 3 seedlings in a 20 m² circle, 6 seedlings in a 50 m² circle and 1200 plants per hectare as a limit for enrichment planting.

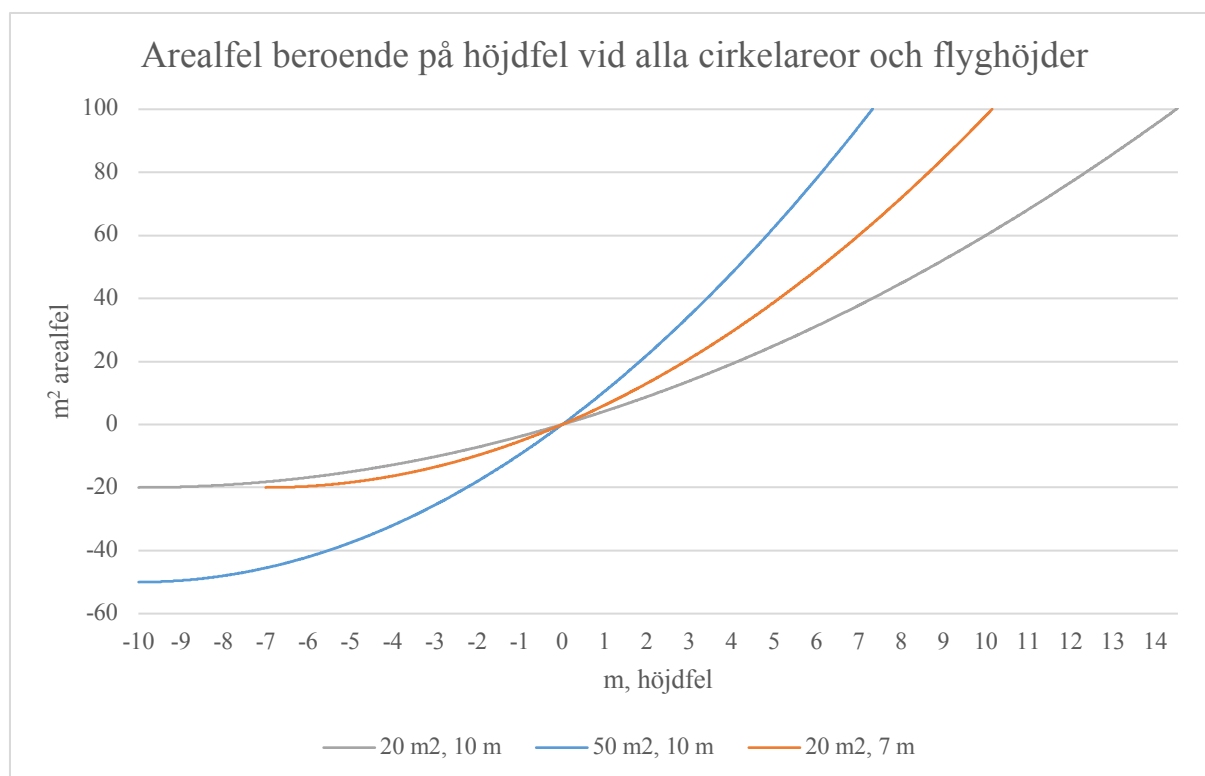
Variationer på -0,99 m till 1,02 m uppmättes. Värdena ligger inom den felmarginal som kan accepteras.



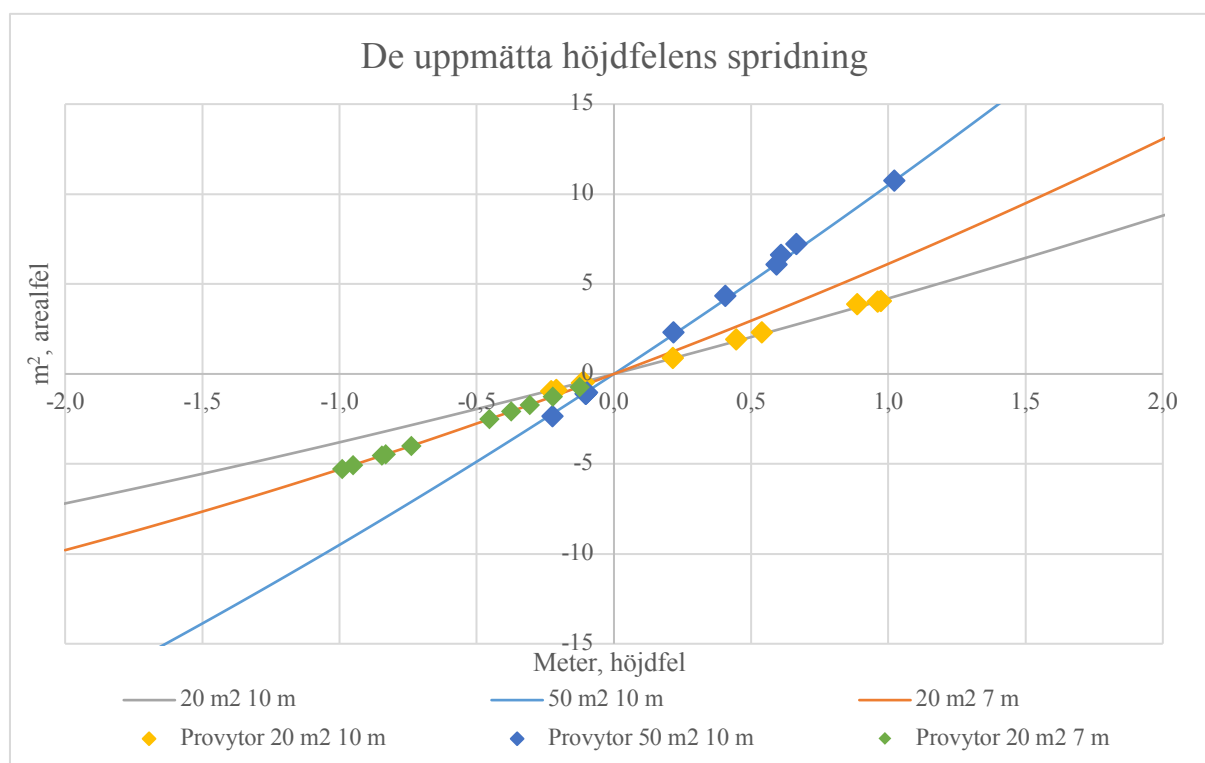
Figur 10 Beräknad variation i flyghöjd i studiens bilder. Beräknat genom mätning av cirklarna motsvarande 20 och 50 m² ritade på marken i fält och medelvärde av dessa per yta. För 10 ytor tagna från 10 & 7 meters höjd.
Figure 10 Calculated variation in flying height for the images in this study. Calculated by measuring the circles corresponding to 20 and 50 m² plotted in the field and the mean for every sample area. From 20 images taken from 10 & 7 meters height.

Flyghöjderna 7 & 10 meter med 20 m² mask, och 10 meter med 50 m² mask resulterar i olika ekvationer för samband mellan höjdfel och arealfel (figur 11). Uppmätta värden från bilder visar spridningar från – 5,27 till 10,74 m² i arealfel där motsvarande fel i höjd är -0,99 till 1,02 m (figur 12).

Ekvationen för 10 meter flyghöjd och 50 m² mask uppvisar den största lutningen. 10 meter flyghöjd och 20 m² mask uppvisar den minsta.



Figur 11 Funktioner för arealfel beroende på höjdfel för alla cirkelareor och flyghöjder som använts i studien.
 Figure 11 Functions showing area error depending on height error for all studied circle areas and flying heights.



Figur 12 Värden från studiens bilder för arealfel och höjdfel för 20 & 50 m² cirkel på 10 meters höjd, och 20 m² cirkel på 7 meters höjd. Markörer för data från respektive provyta.
 Figure 12 Values from the images in the study for area error and height error for 20 & 50 m² circle from 10 meters height, and 20 m² circle from 7 meters height.

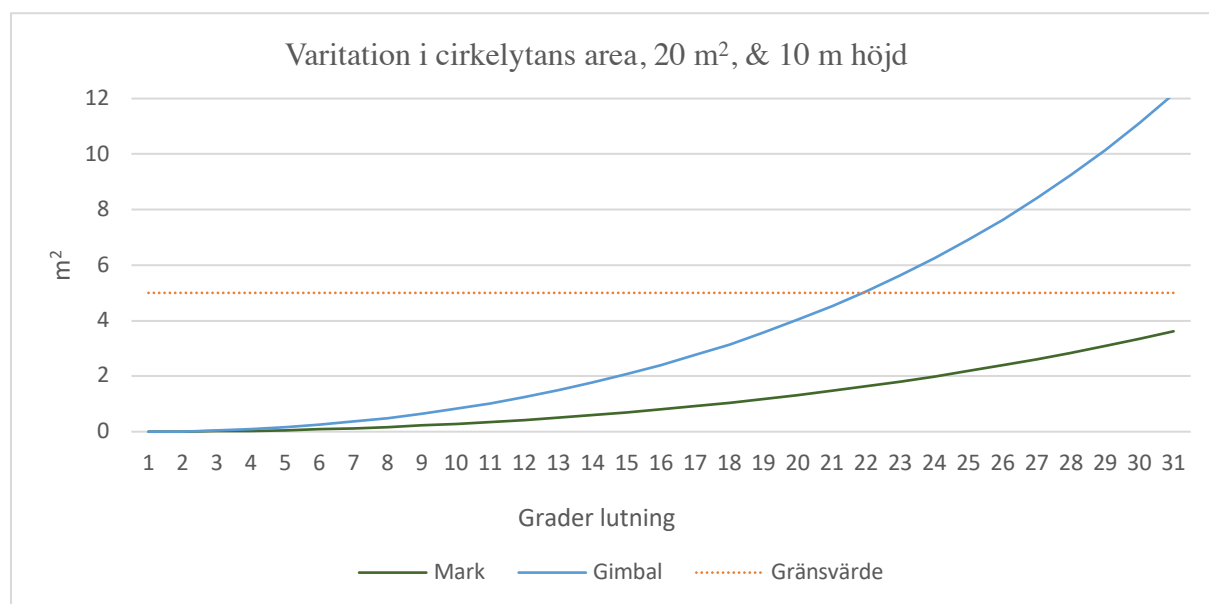
4.1.2 Kameravinkel, markens lutning och dess påverkan på avbildning

I metadata till bilder är det endast pitch som avviker från drönarens vinkel. Roll som också kan ge en falsk höjd vid stor vinkel har inte avvikit, yaw påverkar inte skalningsberäkningen.

Däremot när pitch och roll beräknades i Agisoft PhotoScan Professional genom att matcha alla överlappande bilder från 40 m flyghöjd, samt producera en markmodell till vilken programvaran kan relatera fotovinkeln. Dessa beräknade värden för pitch och roll skiljer sig från de av drönaren angivna för varje bild. Jämförelse mellan beräknad gimbalvinkel för bilder fotade från 7 och 10 m höjd ger för dessa tre provytor ett RMSE på 0,78 grader för roll och 1,21 grader för pitch.

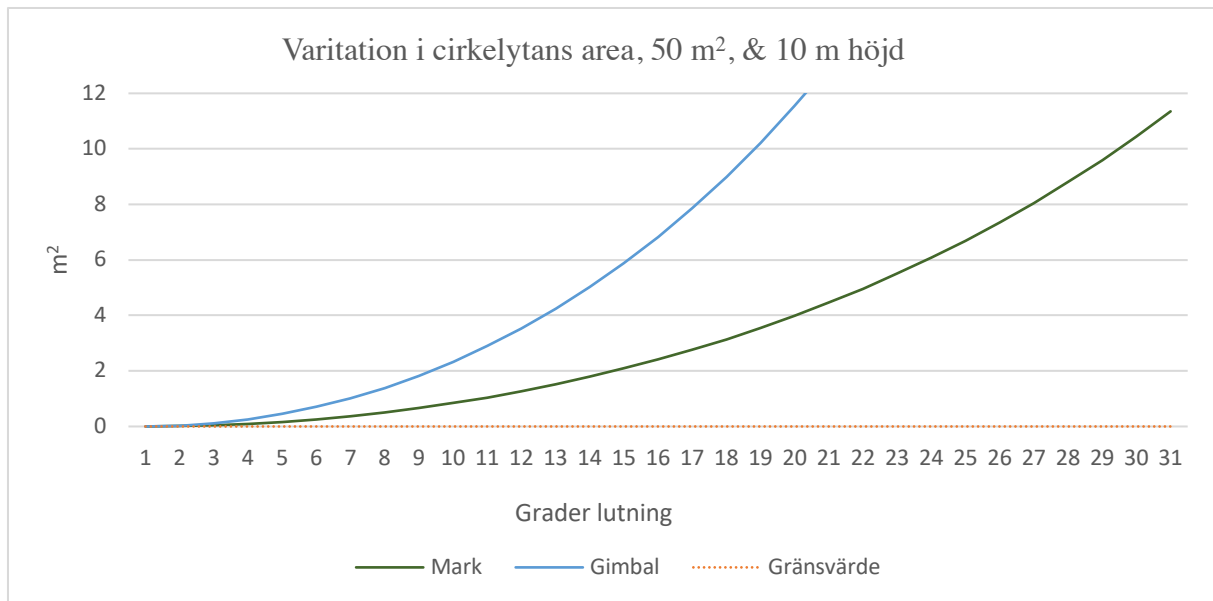
Gimbalens lutning påverkar arean väldigt lite enligt beräkningarna. I bilderna i studien uppskattades kameravinkeln till maximalt 2,09 grader, vid 10 m flyghöjd på provytorna vilket resulterar i en ökning av arean på 0,11 m² för en mask på 50 m² och 0,04 m² för en mask på 20 m². För att ge ett arealfel på 5 m² och underskatta antalet plantor per hektar till under gränsvärdet på 1200 plantor per hektar krävs en vinkel på 20–22 grader för en mask på 20 m² (figur 13, 15).

Gimbalens lutning påverkar arealfelet i större utsträckning än marklutningen (figur 13, 15). I bilderna visas ett gränsvärde där arealfelet innebär att skattat plantantal per hektar understiger de 1200 plantor per hektar som avser gräns för hjälpplantering. För bilderna med en mask motsvarande 20 m² överstigs gränsvärdet vid ca 22 grader för gimbalens vinkel och vid ca 33 grader för markens lutning (figur 13, 15). Med en mask motsvarande 50 m² ligger gränsvärdet vid 0 grader, vilket innebär att det överskrids när vinkel hos antingen marken eller gimbalen ≠ 0 (figur 14).



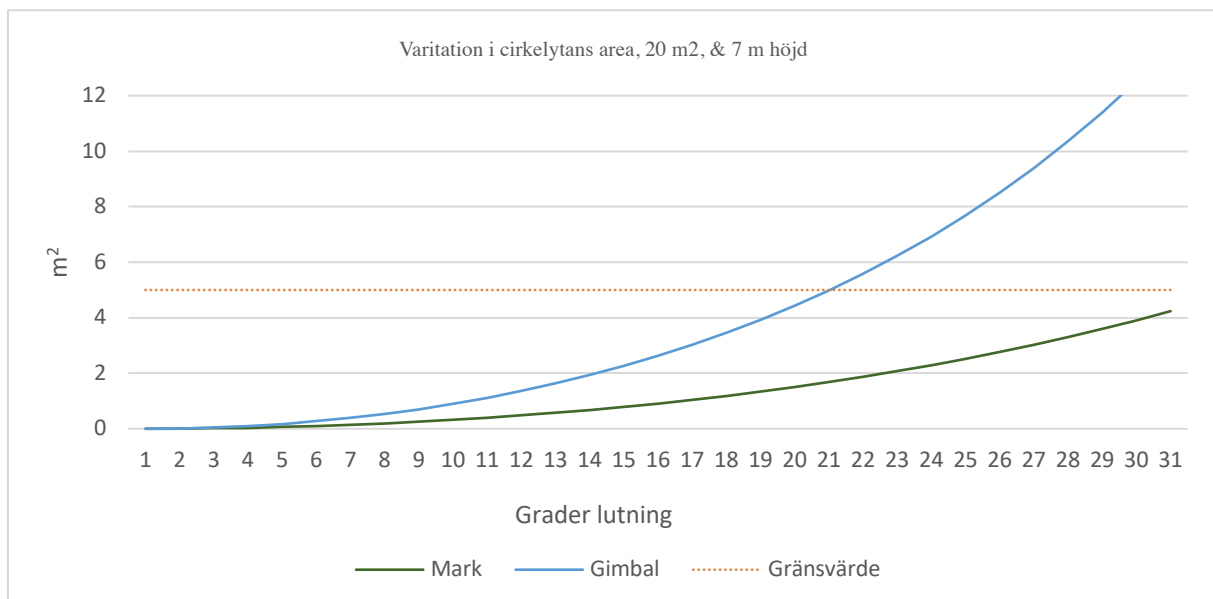
Figur 13 Variation i m² av den projicerade cirkeln vid maskarea 20 m² från 10 meters höjd. Gimbal- och marklutning i grader. Gränsvärde avser maximalt arealfel där plantantal per hektar inte understiger 1200 givet 3 identifierade plantor inom cirkeln.

Figure 13 Variation in m² of the projected circle when using 20 m² mask from 10 meters height. Gimbal angle and ground slope in degrees. Critical value showing the maximal area error where number of plant per hectare won't be under 1200 given 3 identified seedlings in the circle.



Figur 14 Variation i m^2 av den projicerade cirkeln vid maskarea $50 m^2$ från 10 meters höjd. Gimbal- och marklutning i grader. Gränsvärde avser maximalt arealfel där plantantal per hektar inte understiger 1200 givet 6 identifierade plantor inom cirkeln.

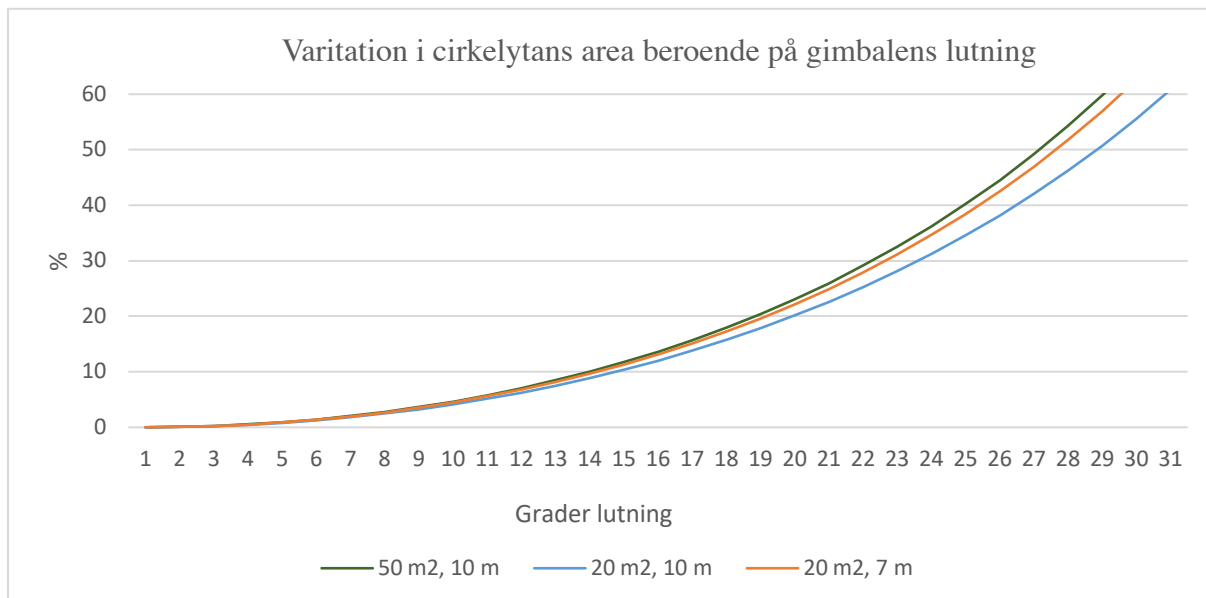
Figure 14 Variation in m^2 of the projected circle when using $50 m^2$ mask from 10 meters height. Gimbal angle and ground slope in degrees. Critical value showing the maximal area error where number of plant per hectare won't be under 1200 given 6 identified seedlings in the circle.



Figur 15 Variation i m^2 av den projicerade cirkeln vid maskarea $20 m^2$ från 7 meters höjd. Gimbal- och marklutning i grader. Gränsvärde avser maximalt arealfel där plantantal per hektar inte understiger 1200 givet 3 identifierade plantor inom cirkeln.

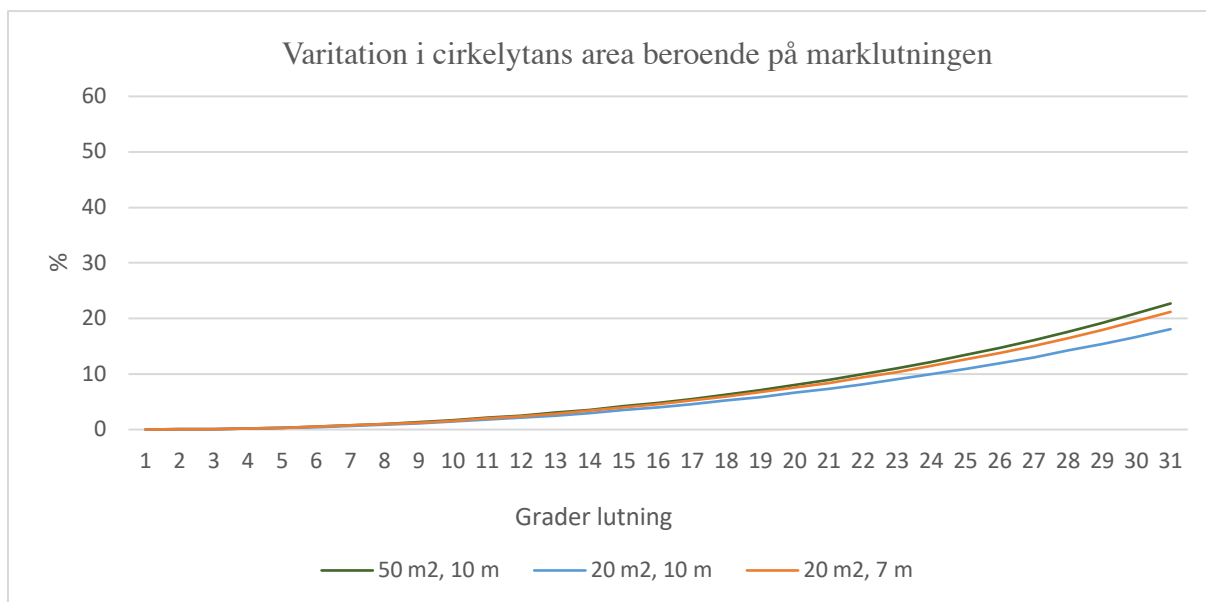
Figure 15 Variation in m^2 of the projected circle when using $20 m^2$ mask from 7 meters height. Gimbal angle and ground slope in degrees. Critical value showing the maximal area error where number of plant per hectare won't be under 1200 given 3 identified seedlings in the circle.

En sammanställning av procentuell skillnad i areal för alla tre bildscenarion uppdelat på marklutning och gimballutning visar att 10 meters flyghöjd med en mask motsvarande 50 m² har störst förändring vid ökad vinkel. 10 meters flyghöjd med en mask motsvarande 20 m² uppvisar minst förändring vid ökad vinkel (figur 16–17).



Figur 16 Variation i procent av den projicerade cirkeln vid maskarea 20 & 50 m² från 10 meters höjd samt 20 m² från 7 meters höjd. Gimballutning i grader.

Figure 16 Variation in percentage of the projected circle when using 20 & 50 m² mask from 10 meters height and 20 m² mask from 7 meters height. Gimbal angle in degrees.



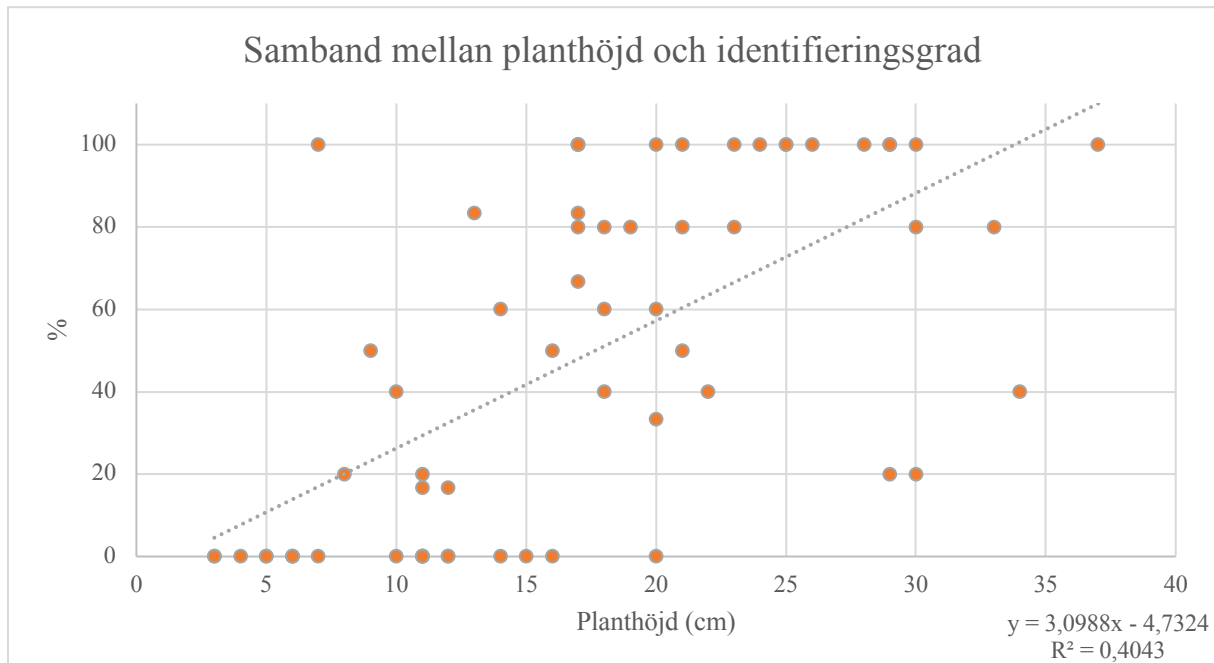
Figur 17 Variation i procent av den projicerade cirkeln vid maskarea 20 & 50 m² från 10 meters höjd samt 20 m² från 7 meters höjd. Marklutning i grader.

Figure 17 Variation in percentage of the projected circle when using 20 & 50 m² mask from 10 meters height and 20 m² mask from 7 meters height. Ground slope in degrees.

4.2 Bildtolkning

4.2.1 Samband med planthöjd

Sambandet mellan plantornas höjd och identifieringsgrad visar visuellt en positiv trend mot att högre höjd ökar chansen att identifiera plantan. Förklaringsgraden vid analys med linjär regression var 40,43 % (figur 18).

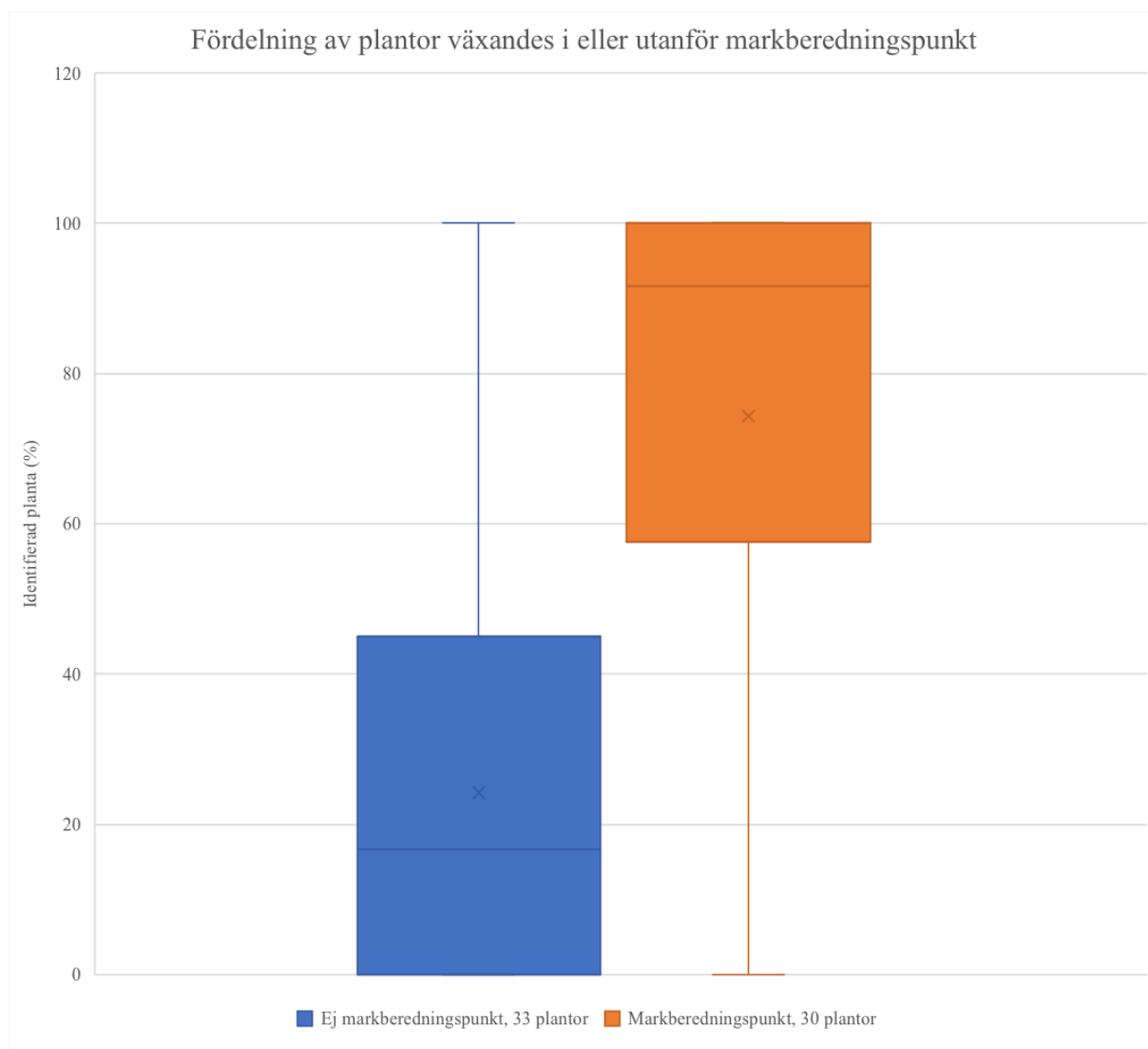


Figur 18 Samband mellan plantornas höjd och i vilken utsträckning de kunde identifieras under bildtolkningen.
Figure 18 Correlation between height of the seedling and to which degree they were identified in the interpretation.

4.2.2 Samband med markberedningspunkt

Plantorna delades in i kategorierna "Ej markberedningspunkt" och "Markberedningspunkt" beroende på dess växtplats. En analys av fördelningen mot identifieringsgrad visar att de plantor som växer i en markberedningspunkt har större chans att bli identifierad, p-värde $<0,001$ vid parat T-test (figur 19).

Sambandet mellan markberedningspunkt och identifierbarhet visar fördelningen mellan en växtplats i eller utanför markberedningspunkt och huruvida den blev identifierad eller ej. Här syns en tydlig skillnad mellan de två trots en större andel plantor som växte utanför markberedningspunkt. Båda kategorierna har värden på 0 % och 100 % identifieringsgrad, men för de som växer i markberedningspunkt är andelen identifierade plantor större än i de som växer utanför en markberedningspunkt (figur 19).



Figur 19 Fördelning av identifieringsgraden av plantor beroende på växtplats, ej markberedningspunkt respektive markberedningspunkt

Figure 19 Boxplot showing the degree of identification depending on growth spot, not soil prepared and soil prepared respectively.

4.2.3 Totalinventering i provyta

I bildtolkning av de tre totalinventerade ytorna identifierades falska plantor som i själva verket var grästuvor. Bland inventerarna var det olika objekt som felidentifierades. De felaktiga plantorna uppgavs samtliga som osäkra plantor vid inventering. Feltolkning skedde vid tolkning för bestämning om hjälpplantering på två av provytorna.

4.2.4 Tidsåtgång bildtolkning

Medeltiden för att bildtolka cirkeln på 20 m² på varje yta var 15,9 och 27,2 s för 7 resp. 10 meter (tabell 3). Standardavvikelsen mellan ytorna är 10,7 s resp. 16,2 s. Antalet ytor där samtliga testpersoner identifierade 3 plantor och därmed uteslöt hjälpplantering var 80 % (7 m) resp. 90 % (10 m).

Tabell 2 Medeltid för att identifiera tillräckligt många plantor inom cirkeln på 20 m² för att utesluta hjälpplantering, alternativt konstatera att fältkontroll krävs. Angivet i procent finns andelen av försöken där hjälpplantering uteslöt, uppdelat i bilder från 7 & 10 m höjd

Table 3 Mean time to identify enough seedlings within the circle to eliminate the need for enrichment planting, or state a need for field control alternatively. In percent are the number of trials where the need was eliminated, divided by images taken from 7 & 10 m height

Flyghöjd (m)	Tid,medel (s)		Korrekt utesluten hjälpplantering (%)	
	7	10	7	10
Provyta				
1	41,6	59,3	40	33
2	21,0	42,3	80	100
3	12,0	13,3	100	100
4	7,8	11,5	100	100
5	7,8	18,8	100	100
6	8,6	12,8	100	100
7	12,8	19,7	100	100
8	25,0	27,5	100	100
9	12,6	44,7	100	100
10	9,4	22,5	100	100
Medel	15,9	27,2	92,0	93,3
Standardavv.	10,7	16,2		

Vid inventering av objekt på 10 hektar kan som mest 36 provytor i förband av 50 m läggas ut. Medeltiden för tolkning av en 20 m² provyta från 7 m höjd var 16 sekunder, vilket då innebär 57,6 sekunder/ha.

4.3 Kostnadskalkyl

Kostnadsposter har hämtats från Sveaskog till tabell nedan (Ernstsson 2018). Samt beräknats i ruttoptimeringsmodell för inventerare. Vid modelleringen förkortades arbetsdagarna i samtliga fall och kostnaden för de modellerade inventeringarna med drönare har en markant lägre kostnad (tabell 4). Vid snabbare inventering i fält ökar antal mil per dag, då fler objekt besöks per dag. Mil per ha minskar och därmed körkostnaden per hektar. Drönarintegrerad inventering med tolkning i fält beräknas enligt modellering sänka kostnaden för återväxtkontroll med 80 %, vid tolkning på kontor med 82 %.

Tabell 4. Beräkningar baserade på 31 kr milkostnad och 200,40 kr/h personalkostnad. Modellerade inventeringar på data från distrikt Vindeln inom RO Västerbotten.

Table 4 Calculations based on 31 SEK/10km driving and 200,40 SEK/h employment cost. Modeled inventory methods based on data from district Vindeln in Västerbotten county.

Inventeringsmetod	Konventionell Sveaskog RO Västerbotten 2017	Modellerad konventionell	Modellerad drönarinventering, tolkning i fält	Modellerad drönarinventering, tolkning kontor
Arbetsdag (% av 8h)	100	94	90	83
Mil/dag i bil	8,0	13,0	19,6	21,2
Hektar/8 timmar	22,5	21,4	121,8	185,0
Andel av dag (%)				
-Bilkörning	25,0	28,6	45,4	36,1
-Fält	75,0	71,4	54,6	32,0
-Kontor	-	-	-	31,8
Kostnad per hektar (kr)				
-Bilkörning	28,83	41,25	11,52	8,86
-Fält	53,44	53,44	7,19	4,07
-Kontor	-	-	-	4,04
Totalt (kr/ha)	82,27	94,69	18,71	16,97

5 Diskussion

Då höjdfelsberäkning för varje bild blir för omständligt vid användning av metoden i stor skala användes gränsvärde på 1200 plantor per hektar för att sätta felmarginal på höjdfelet. Det var endast en överskattning av höjden som var intressant för resultaten då det innebär en underskattning av plantantalet per hektar. I praktiken skulle underskattningen av antalet plantor kunna innebära att hjälpplantering avfärdas på ett objekt där antalet plantor inte är tillräckligt. Det kan leda till anmärkningar från Skogsstyrelsen vid kontroll, alternativt leda till att den framtida skogen blir undermålig och ger en låg eller ingen avkastning. En överskattning av plantantalet är inget problem om inventeringen endast avser återväxt och för att utesluta hjälpplantering. Vid en för låg flyghöjd är det troligare att antalet nollytor ökar och det beslutas om hjälpplantering.

Arbetet har gjorts på endast 10 provytor, ljusförhållanden och tidpunkt på året för inventering har inte studerats. Arbetet har utformats för att ge vägledning till framtida inventeringsmetoder, databegränsningen bör inte förhindra det syftet. Däremot bör inte resultatet från bildtolkningen användas till att bedöma medelfel på säkerhet i bildtolkning etc.

5.1 Projiceringens precision

Felmarginalen för höjdskillnaden är förhållandevis stor för cirkelarna på 20 m² vid 7 & 10 m. För att plantantalet per hektar ska understiga gränsvärdet efter uppräkningskrävs det att drönaren flyger 0,83 respektive 1,12 meter för högt. För cirkeln på 50 m² från 10 m höjd finns det ingen felmarginal då de 6 plantor som räknas inom den större cirkeln räknas upp till gränsvärdet, exakt 1200 plantor per hektar. Tillsammans med antagandet att det tar längre tid att räkna dubbla antalet plantor på en yta dubbelt så stor, gör att inventering från 10 m höjd med en mask på 50 m² utesluts som ett alternativ. De uppmätta höjdfelen för varje provyta ligger alla inom felmarginalerna. Från 7 m underskattades alla höjder medan majoriteten av de från 10 m överskattades. Detta tros bero på att 10 m ligger nära den maximala höjdgränsen för att drönaren ska använda sig av höjdbestämmning med hjälp av ultraljud istället för dess inbyggda barometer. Interferens av mätningen kan då ske. Då drönarens, från tillverkaren angivna, felmarginal på 0,1 m mot en plan yta ansågs tillfredställande efter kontroll med lasermätare i fält måste höjdfelen ha ett annat ursprung. De höjdfel som uppmättes tros ha att göra med hur och var ljudvågorna från sensorn träffar marken. Det finns inte angivet i specifikationerna hur träffpunkten avläses av drönaren. Det innebär att vi inte vet om höjden mäts från toppen av en stubbe, botten av en körskada eller från markprofilen.

Användandet av jämna tiotal m² för att bestämma plantantal per hektar används framförallt för att uppräkningskrävs antalet plantor i cirkeln underlättas. När beräkningarna numer sköts digitalt finns det inget som talar mot användandet av andra areor. Därför beräknades arealfelen i m² för de olika scenarierna, och kurvor togs ut. För cirkelarna på 20 m² innebär felen i flyghöjd ett fel i area på -5,27 till 4,08 m². Förändringen i area beroende på höjdfelet är minst för bilder från 10 m höjd med 20 m² mask, vilket talar för att det är det bästa alternativet av undersökta scenarion. Linjerna för 50 m² mask på 10 m höjd och 20 m² mask på 7 m höjd är brantare och mer känsliga för höjdfel.

När kamerans fokus inte ligger lodrätt från drönaren påverkas projiceringen av masken till en ellips med ökad area som följd. Arealfelet ökar då höjdmätningen sker vinkelrätt från drönarens kropp och avståndet från kameran till centrum av masken där den avbildas på marken är större än flyghöjden som visas. Arealfelet som kameravinkelns maxvärde i studiens

bilder leder till är förhållandevis litet, från 10 m höjd 0,04 m² och 0,11 m² för 20 m² respektive 50 m² cirklar. Taget det att gimbalen som kameran är monterad på alltid strävar efter att rikta fokus i nadir är problemet väldigt litet vid praktisk tillämpning av metoden. Beräkningarna är emellertid baserade på en plan markyta och arealfelet som kameravinkeln kan ge ökar om marken lutar i samma riktning. Att marken inte är plan är ett troligt scenario vilket leder till arealfel av samma anledning som kameravinkeln där masken bildar en ellips. Skillnaden mellan en vinkel på kameran och marklutning är att höjdmätaren vid marklutning mäter en korrekt höjd. En mindre förflyttning av centrum sker på grund av hur ellipsen avbildas och resulterar i en större transversalaxel då avståndet till kameran ökar. Med en mask på 20 m² krävs en marklutning på 32° eller 71 % och 34° eller 76 % för 7 m respektive 10 m flyghöjd för att komma upp i gränsvärdet på 5 m².

Cirklarna målade på marken i fält som använts till facit inte är helt exakta, men i det här sammanhanget när en ny metod jämförs med den tidigare menar vi att exaktheten överträffar den som används i fält i den konventionella metoden. Där är det inventeraren som med sitt spö avgör huruvida en ”gränsplanta” kommer med eller ej, vilket bestäms av hur exakt hen kan positionera sitt spö från provytans mitt. Vikten av precisionen på brännviddsangivelsen likväl som höjdangivelsen bör understrykas. Om brännvidden ska användas till skalning så bör brännvidden testas, den kan variera mellan kameraindivider från tillverkarens seriekopior.

5.2 Bildtolkning

Med endast 10 provytor och bilder från två olika höjder är insamlad data inte tillräcklig för att komma fram till några signifikanta slutsatser angående plantornas identifierbarhet i bilderna. Fältarbetet bestående av drönarflygningen gjordes under barmarksäsong 6 mån innan bilderna började analyseras och det var därför inte möjlighet att införskaffa fler bilder när arbetet hade börjat. Denna studie får ses som en fingervisning om de möjligheter och felkällor som kan tänkas uppkomma vid en återväxtinventering med drönare.

Metoden som använts till bildtolkningen innebär att om tre säkra plantor hittas i provytan anses resultatet vara tillfredsställande. Alla felidentifierade plantor angavs som osäkra av bildtolkare. De felidentifierade plantorna var alla på objekt med frodig hyggesvegetation som försvårade bildtolkningen.

Sambandet mellan plantornas höjd och identifierbarhet visar att plantorna i bilderna som är över 15 cm har i mycket större utsträckning blivit identifierade än de som är under 15 cm. Identifieringsgraden i % är baserad på fem eller sex testpersoner och observationer vilket gör det svårt att få en jämn kurva som skulle kunna visualisera ett bättre samband. Sambandet mellan markberedningspunkt och identifierbarhet visar en stor skillnad mellan kategorierna som tyder på att sannolikheten för att en planta ska bli identifierad i bilderna är mer beroende av vegetation under och runt om plantan. De ytor som var harvade och därmed en mindre andel vegetation i plantornas närhet upplevdes av testpersonerna som lättare att inventera än de som höglagts. För att metoden ska underlättas i praktiken kan därmed de objekt som inventeras väljas efter markberedningstyp och bonitet, där konkurrerande vegetation ökar med ökad bonitet (Albrektson, A. et al., 2012).

I studien avfärdades hjälpplantering inom några sekunder, tiden det tog för bildtolkningen var i huvudsak att placera cirklar på identifierade plantor. Vid kommersiell användning av metoden så förordas ett annat tillvägagångssätt. Ett sätt är att endast tolka bilden och ange som ”godkänd” eller ”icke godkänd”.

5.3 Kostnad och tid för simulerad drönarintegrerad återväxtkontroll

Som förväntat blir arbetet mer effektivt med drönare som hjälpmedel. Det ska dock betonas att modellen inte är bättre än det data som används samt att väderförhållanden och liknande inte beaktas. Med detta sagt så visar beräkningarna att integreringen av drönare resulterar i en kraftig effektivisering av återväxtkontrollen. Arbetet i fält förväntas gå mycket snabbare, vilket leder till mindre tid i bil per hektar eftersom inventeraren hinner med fler objekt på samma rutt. Ökningen beräknas uppgå till mellan 569 och 864 % per dag. Mindre arbetstid per hektar innebär också mindre kostnader, simuleringen ger summan 16,97 kr/ha för det något mer osäkra alternativet där kostnaden för bildtolkning på kontoret adderas i efterhand. Tiden för tolkning på kontor beräknas till knappt en minut per hektar vilket för exemplet innebär att ca 3 timmars kontorstolkning följer efter 185 ha drönarinventering, ett dagsverke. Värt att notera är också antalet arbetsdagar modellen simulerat att inventeraren fordrar för att inventera alla objekten. I den konventionella metoden krävs 38 dagar, för drönarinventering med tolkning i fält 7 dagar, för enbart drönarinventering behövs 5 dagar i fält och 2 dagar till kontorstolkning. Färre dagar i fält ökar möjligheten att välja tillfällen med optimala förhållanden för drönarinventering. Att inventera tidigt på våren innan bildtolkningsstörande vegetation kommit igång, eller till och med döljs av snö, borde underlätta bildtolkningen avsevärt.

Den information om aritmetisk medelhöjd som inventerare i fält normalt samlar in okulärt i fält borde kunna ersättas med tillräckligt bra data. Tanken är att drönarpilot inventerar del av objekt enligt konventionell metod samtidigt som drönaren fotar, vilket medför information om planhöjd som borde motsvara medelhöjd för hela objektet med tillräcklig noggrannhet. I Sveaskogs fall vill man skatta när plantorna når 1 meters höjd för att vid denna tidpunkt fånga plantröjningsbehov samt prognosticera nästa fältbesök; röjningsplanering. Den kontorsbaserade bildtolkningsmetoden benämns som osäker eftersom den bygger på att kvalitén på drönarbilder till tolkning är hög, om inventerare på kontoret upptäcker att bilderna håller för låg kvalitet så kan inte tolkning genomföras, vilket adderar oönskat nytt fältbesök. Att snabbt gå igenom bilderna innan inventerare lämnar objektet kan vara ett alternativ.

5.4 Slutsatser

Tack vare revideringen av bildtolkningen till att endast avgöra behovet av hjälpplantering, samt fler ha/mil genom drönarintegreringen, så kan kostnaden konkurrera med konventionell inventering. Beräknad kostnad för drönarintegrerad inventering är utan tvivel billigare än den konventionella, vilket skiljer sig från tidigare försök med helikopterinventering (Orgum 2008, Sylvander 1985). Det kan understrykas att tidigare bildtolkningsmetoder inte har begränsat plantinventeringen till maximalt 1500 eller 1200 plantor/ha. Det viktigaste vid återväxtkontrollen är inte antalet plantor/ha, utan på vilka objekt som återväxten är undermålig (Ernstsson 2017). Därför borde ett minimum på plantor/ha som motsvarar gränsen för när hjälpåtgärd sätts in vara tillräckligt bra, särskilt om det kan sänka kostnaden drastiskt. Drönarintegrerad inventering med tolkning på kontor beräknas enligt modellering sänka kostnaden för återväxtkontroll med 82 % jämfört med konventionell metod. Om drönarpilot anser objekt otillräckligt förnygrat redan efter fältinventering, och misstänker hjälpplantering som nästa åtgärd förordas konventionell inventering på hela objektet. Det ger möjlighet till en bättre övergripande bild av objekt för att planera var i objektet som hjälpplantering ska rekommenderas. Att bestämma var i objekt som hjälpplantering ska sättas in bedöms inte vara lämpligt att göra från kontor.

Drönarintegrerad inventering med tolkning i fält beräknas enligt modellering sänka kostnaden för återväxtkontroll med 80 % jämfört med konventionell metod. Vid undermålig återväxt där förslag till nästa åtgärd blir hjälpplantering, så kan inventerare med stöd av drönarbilder avgränsa det område som blir föremål för rekommenderad åtgärd.

För att välja vilken höjd drönare fotar ifrån och vilken areal på tolkningsprovyta som är optimal måste storleken på den yta som avbildas i bilderna beaktas. Enligt inventeringsdirektiven från Sveaskog ska inventeraren avfärda nollytan ifall det finns en planta inom 3 m från centrum. En bild från drönaren bör därför inrymma en cirkel på minst 3 m i radie. För kameran använd i studien ger det en flyghöjd på 6 m. Vidare ökar synligheten för objekt i bilden vid lägre flyghöjd vilket talar för att använda lägsta möjliga höjd. Arealfelet beroende på flyghöjden ökar dock desto lägre bilderna tas ifrån vilket gör risken för feltolkning av plantantalet per hektar större. Samtidigt minskar effekterna av gimbalen- och markens vinkel på arealfelet. Resultatet visar att höjdfelet, och inte gimbal- och marklutning, är det som i praktiken bör påverka arealfelet mest på de låga flyghöjder som använts.

Begränsningar i studien är antalet i fält totalinventerade provytor till facit, följaktligen också antalet bildtolkade provytor. Det förhindrar möjligheten att med dignitet påstå med vilken precision som bildtolkaren identifierar korrekt och inkorrekt planta.

5.5 Framtida möjligheter

För att ytterligare effektivisera metoden diskuteras även möjligheterna att låta mjukvara inventera ytorna. Utvecklingen inom maskininlärning går fort fram och finns idag i många bildanalysvarianter. Att träna ett neuralt nätverk till objektidentifiering för plantor är en tänkbar lösning till effektivare bildtolkning. Detta har beaktats i arbetet, bl.a. genom att utvärdera precision av data och datakälla. En utveckling vid lagändring som medger drönarflygning bortom synhåll kan vara uppbyggnad av strategiskt placerade laddstationer för att drönaren ska flyga än mer autonomt under längre perioder (Hong, Kuby & Murray, 2018). Det skulle frigöra mer tid till inventeraren för antingen inventering enligt konventionell metod på del av objekt, eller till andra arbetsuppgifter, som exempelvis bildtolkning eller traktplanering.

6 Litteraturförteckning

- Albrektson, A. et al., 2012. *Skogsskötselserien . 1, Skogsskötselns grunder och samband 2.*, omarb. uppl., Jönköping: Skogsstyrelsen.
- Bernstein, David A. (1974). Are reforestation surveys with aerial photographs practical?. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 40(1), s.69–73.
- Crosetto, Tarantola & Saltelli, 2000. Sensitivity and uncertainty analysis in spatial modelling based on GIS. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 81(1), s.71–79.
- DJI. (2018). PHANTOM 4 PRO SPECS. Tillgänglig från: <https://www.dji.com/phantom-4-pro/info#specs>. [Besökt: 12/3/2018].
- Ekelund, H. et al., 2001. Skogspolitisk historia, Jönköping: Skogsstyr.
- Ekonomifakta. (2018). Arbetsgivaravgift. Available from: <https://www.ekonomifakta.se/fakta/skatter/skatt-pa-arbete/arbetsgivaravgift/>. [Besökt: 8/4/2018].
- Google Maps. (2018). *Google Maps*. Tillgänglig från: <https://www.google.se/maps/@64.0773382,20.0264476,35399m/data=!3m1!1e3> [Besökt 17/4/2018].
- Hong, Kuby & Murray, 2018. A range-restricted recharging station coverage model for drone delivery service planning. *Transportation Research Part C*, 90, pp.198–212.
- Kirkby, C.L., 1964 A camera and interpretation system for assessment of forest regeneration. Northern Forest Research Centre, Edmonton, Alberta. Report NOR-X-221.
- Linn Christiansen, Skogsstyrelsen. (2016). Återväxternas kvalitet. Beskrivning av statistiken.
- Orgum, Jonas, 2008. Plantinventering och plantkontroll med digitala bilder från helikopter: Plant inventory with digital aerial photographs from helicopter.
- Skogsstyrelsen. (2017). INSTRUKTION för fältinventering vid Återväxtuppföljning. Tillgänglig från: <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/statistik/miljohansyn/faltinstruktion-atervaxtuppfoljning-ver-2.7.pdf>. [Besökt: 19/4/2018].
- Sylvander, R., 1983., pp.Skogen (29 apr 1983), (nr 4), s. 30–31\$QSkogen.
- Sylvander, R., 1983., pp.Skogen (29 apr 1983), (nr 4), s. 32–33\$QSkogen.
- Sylvander, R., 1985. En metod för återväxttaxering baserad på tolkning av flygbilder tagna med helikoptermonterad mellanformatkamera: A regeneration survey method based on aerial photography from helicopter, Umeå.
- Tang, L. & Shao, G., 2015. Drone remote sensing for forestry research and practices. *Journal of Forestry Research*, 26(4), s.791–797.

Transportstyrelsen. (2018). Flyger du drönare?. Tillgänglig från:
<https://www.transportstyrelsen.se/dronare#159816>. [Besökt: 12/3/2018].

6.1.1 Muntliga källor

Johan Ekenstedt, Verksamhetsutvecklare – Planering Sveaskog, Västerbotten. (2018)

Bo Ernstsson, Skogsskötselare Sveaskog, Västerbotten. (2017, 2018)

7 Bilageförteckning

<u>1.</u>	<u>Lägsta antal huvudplantor som ska finnas per hektar vid senaste tidpunkt för hjälpplantering</u>	41
<u>2.</u>	<u>Provyteblankett</u>	42
<u>3.</u>	<u>Arbetsrapport för ruttoptimering</u>	43

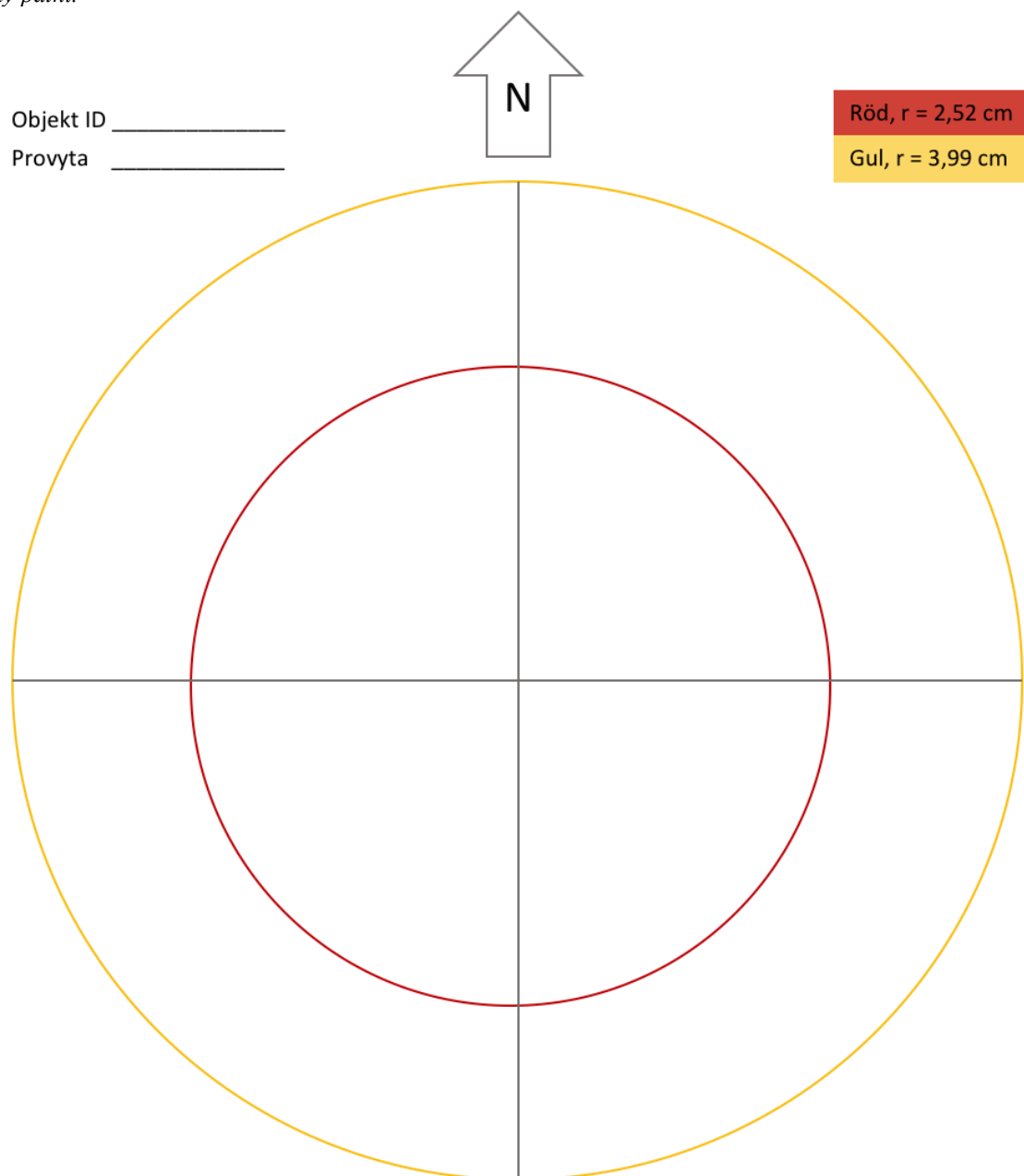
1. Lägst antal huvudplantor som ska finnas per hektar vid senaste tidpunkt för hjälpplantering, vilket beror på ståndortsindex och huruvida skogen är belägen fjällnära eller inte (allmänna råd 2 kap. §6 forskrifter §6 SVL)
1. Lowest number of main seedlings per hectare to be present at the latest possible point for enrichment planting, depending on site index and whether or not the forest is located close to the alpine region or not(allmänna råd 2 kap. §6 forskrifter §6 SVL)

Ståndortsindex H100		Stamantal/hektar		
		i allmänhet	i fjällnära skog	efter anläggning av barrträdsdominerad blandskog enligt särskilda regler om bidrag till anläggning av skog på områden med stormfälld skog
Tallskog*	T28+	2300	1800	2300
	T24	2000	1600	2000
	T20	1700	1300	1700
	T16	1300	1000	1300
	T12	1100	900	1100
Granskog	G36+	2300	-	1900
	G32	2000	1600	1600
	G28	1800	1400	1400
	G24	1500	1200	1200
	G20	1100	900	1100
	G16	900	700	900
Björkskog	Alla	2000	1500	2000

*) Gäller även contortatall

2. Provyteblanketten som användes i fält för att markera ut plantornas placering. Cirklarna markerades på marken med sprayfärg.

2. Form used in the field to mark the location of the seedling. The circles were painted on the ground using spray paint.



3. Arbetsrapport för ruttoptimering.
3. *Work report for route optimization.*

Project optRoute

The structure of the report is that of a work report. That means that it will contain the information about how I did the model and what is needed to use it. The report may not exceed more than **7 pages** of text, so it is short and to the point.

Background

This summer I've received my first job in forestry. I will be employed at Sveaskog to count young and old plants to make sure that a satisfying regeneration of forest is achieved. From my results of counting plants in sample areas I will recommend when to execute cleaning, and if necessary, order replanting. For my work, I've received an excel-file containing information about all the properties I'm to look over. I have data on coordinates and area of each site. I have also requested and received additional data from Sveaskog's own GIS-server such as roads and property-attributes.

My objects are somewhat spread across Vindeln municipality and they are a total of 207 sites to visit. Now having an idea of what Arc map can perform from previous GIT-course I thought it would be perfect to create a model that helps me with the route-logistics this summer, and hopefully a base for even more advanced logistic modelling in the future.

To compute the optimal route is a known problem and the matter is called The travelling salesman problem, TSP.

Pop, Petrica C., and Versita (2012) writes that the travelling salesman problem (TSP) is surely one of the most intensively studied representatives of combinatorial optimization problems. Its solution is applied in logistics, transportation, planning, microchips manufacturing, DNA sequencing, etc. Already in the 1930s a report was published by Karl Menger that described the travelling salesman problem. Moreover, they describe the TSP as special case of the generalized travelling salesman problem which consists of exactly one node for each cluster.

The GTSP has slightly different applications to location problems; railway optimization, planning, postal routing, manufacture of microchips, computer file sequencing, etc. If you are interested, additional reading on the topic can be found in Fischetti, Salazar and Toth [1, 2], Laporte, Asef-Vaziri and Sriskandarajah [3], Laporte and Nobert [4].

This Esri Arc Map model optRoute finds the optimal route by solving the "Vehicle Routing Problem", which is closely related to the TSP. The complications accompanying with defining optimal routes for vehicles from one or several depots to a set of locations are known as Vehicle Routing Problems (VRPs) (Pop, Petrica C., and Versita 2012).

The VRPs have several everyday applications in the arena of distribution and logistics. More to read on the theory and solutions of the VPR can be found in Laporte and Osman [5], Laporte [6] and the book edited by Ball et al. [6]).

OptRoute is supposed to compute the least costly route when given certain constraints about how long the working day may be and how fast you can drive on a specified day. -When and where is it suitable for a lunch break? The VRP finds the minimum cost tour for each vehicle to

visit all locations and return to the depot (Pop, Petrica C., and Versita 2012).

The goal is to achieve a practical model that can solve most field-forestry-visit-logistics. And provide user-friendly driving directions applicable or mergeable with Sveaskog's "Arbetsorder".

Input data

Road map from Lantmäteriet

Coordinate system

Level: SWEREF 99 TM

Altitude: RH 2000

The accuracy of the road map database generally corresponds to a mean error of about 20m in level. Due to cartographic generalization, deviations of up to 150 meters may occur. Elevation notifications are missing.

This data is available as a WMTS-service and updated every week. From Road map besides the obvious I get the names of the roads I need for directions. I use vector data to build a network with names as one of the attributes. The raster data serves as background layer to illustrate the surroundings.

Locations to visit

A simple excel table with northing and easting coordinates, in SWEREF 99 TM, to be projected as points could then be snapped to closest road. These points could then be linked spatially to a shp. from Sveaskog with polygons containing forestry-data; like age and number of plants ordered. This data was originally planned to be merged with Sveaskog's Arbetsorder. It turned out later that only one attribute could be displayed per object in directions. I chose to present service time, hence this data is now excessive in the model. Though it is still appreciated and accessible data in software mode. By clicking any location-point while having this layer lit I can examine this data in the attribute table.

Service time, derived from expert advice, or computed

How much time is needed to finish my sampling areas on each site?

That was a question that needed answer, and the best option to answer this seemed; to ask my experienced employer. I recalculated his figures so that I got a simple equation for service time depending on area and action.

$[Area(ha)/(32,5/6)] = \text{hours/site}$ when one day of Föryngringsinventering according to him would cover 30-35/ha.

$[Area(ha)/(22,5/6)] = \text{hours/site}$ when one day of Återväxtkontroll according to him would cover 20-25/ha.

This means that I interpreted the expert advice as 6hours of field work and 2h by car /day. This could be a source of error.

(Additionally)

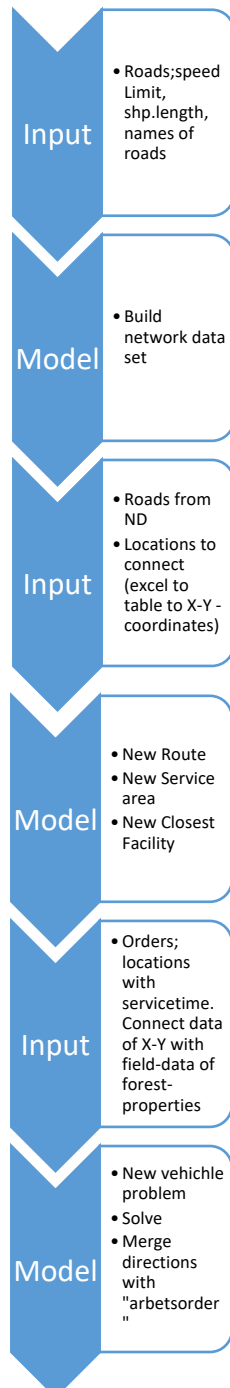
More road data

I downloaded shape files from Trafikverket with additional data, it provided foremost speed limits. It was supposed to give the model a more dynamic speed parameter but was later removed since it did not improve the model's accuracy. While speed limits must be obeyed, they do not represent the vehicles actual speed. It is still the average speed that is decisive

and the model can be programmed to compute drive time for various speeds as a function of any attribute.

I also received a shp. with roads from Sveaskog's GISS, but surprisingly it had the same coverage as the road map from Lantmäteriet and lacked road names. So, this too was useless to me.

optRoute



This model provides a customized solution for the logistics of your inventory, in the early planning process in general terms, or on a daily basis for the performer. I've used software from Esri, in Arc Map there is a model builder tool that allows you create a chain of tools which results in a model. This is recommended when implementing projects in GIS-software since you get a good overview and can easily change your input data.

By building a network and adding stops you can compute the most efficient way to visit all your locations depending on what impedance you use (drive time, distance etc.) and by adding restrictions for where you can go and when (vehicle height, weight, time windows etc.) you can set preferences for avoiding or preferring certain parameters in your network.

Results

Depending on how far you can stretch your working day and what average speed you can keep, the cost will dramatically decrease or increase for the task you want to perform. If you're prepared to work longer days and drive faster, the distance you must drive will in this example be reduced by hundreds of kilometres.

For me It's useful to know from which locations I'm near the office that I need to visit once a week, information I can derive from both the closest facility- and the service area layers.

Also, when taking charge from my employer, I get paid for all the drive time that is as efficient as the drive time would be, if I started from the office. This data is also easily retrieved from these layers.

In this table I compare total costs, distance and days spent on the same job, but with diverse parameters and accordingly; varied route options.

Table 1

Option	Cost/min	Cost/km	MaxTotTime (min)	TotalCost (SEK)	TotalTime (min)	TotalServiceTime (min)	TotalTravelTime (min)	TotalDistance (km)
12h 78 km/h	2,2	3,3	720	67 295	23 094	19 597	3 497	4 996
12h 60 km/h	2,2	3,3	720	72 367	24 916	19 597	5 319	5 319
9h 78 km/h	2,2	3,3	540+5x720	74 497	24 136	19 597	4 539	6 484
9h 60 km/h	2,2	3,3	540+5x720	82 388	26 738	19 597	7 141	7 141

Conclusions, in the example from Table 1 you will save 15100 SEK and 2145km by choosing to work max 12h/day and averaging 78km/h compared to 9h (except for 5 longer days, avg. 8,38h) and 60km/h assuming all others being equal. To this you must add employment fees etc. which will increase the gap even more. The reason is all the extra distance you get in home travelling, to be efficient you need as much service time per day, and as little time in the car, as possible.

In this case working overtime is not waged extra but if it is, you can also find an optimum for each route when considering paying overtime.

It is a considerable difference in distance driven between the shortest and longest route. Since optRoute saves 2145km if choosing the shortest-route option I can only imagine how much time(=money) you can lose if you don't have the model's support. This example is for one employee, one summer.

If I was to plan my route without the software support, I believe the greatest loss would be time spent considering where to go and perhaps some difficulties in finding the site. The best benefit from the model could be to not have to decide "how far should I go? while I'm still at it". You can rely on the plan and you know already which days will be longer and which days will be shorter. If the model is appropriate than you can feel certain that all sites will be managed on a certain time horizon.

It's important to remember though, that this model is sensitive to the "Service time" presented. Which in this case is strictly from my employer's statement of 20-25 ha per working day for "Återväxtkontroll" and 30-35 ha for Förryngningsinventering. My employer is a professional "forestry-care-leader" at Sweden's largest forest company, I've chosen to set the Service time for each site only as a function of the arithmetic mean from the expert's advice to the area of each site. The initial idea was to improve the calculation by adding other parameters such as number of plants, number of samples, age of the trees and how fertile the ground is as well as how rough it is to traverse. I realized that if I was to use these parameters, I would have to make guesses or ask for more expert advice making the model more uncertain and harder to evaluate.

According to Crosetto, Tarantola & Saltelli (2000, p.71) "The available knowledge of the model input is subjected to many sources of uncertainty including errors of measurement, inadequate sampling resolution, etc. Furthermore, the model itself can include conceptual uncertainty, i.e.

uncertainty in model structures, assumptions and specifications. I believe that Crosetto et al. (2000) could fit uncertainty of expert advice in “etc.” Additionally, when adding several vague data, the errors will propagate (Crosetto et.al. 2000). This makes it hard to decide how trustworthy the result is. I’ve narrowed it down to only one expert advice in this model which makes it easy to consider when evaluating, and it’s easily altered when running the model.

Sensitivity analysis / Uncertainty analysis

“Sensitivity analysis relates to the problem of investigating the contribution of the uncertainty in the input factors X to the uncertainty in the model response Y ” (Crosetto, Tarantola & Saltelli 2000, p.73). With this in mind and with help from table 1, I will show you how sensitive optRoute is when altering speed and extent of working day.

If you increase your average speed with 18 units (30%) you will save 7 891 SEK and 657km.

If you extend your max working day by 3h, (increasing your average work day by 28,7 %) the corresponding figures are 10 021 SEK and 1822 km. Assuming all others being equal.

This means that, in this example, 30% higher speed shortens the route with 9,2 % while a roughly 30% longer work day reduces it by 25,5%. Considering this, I say that the extent of work day has the bigger impact on the model’s output. In relation to this I also claim that there is reason to believe that the expert’s advice is a source of error and needs to be evaluated to fully appreciate the model.

This can be done by running the model with longer service time.

25% longer service time was achieved by reinterpreting the expert’s advice and dividing the work day by 8 instead of 6h. The result for max 12h workday, 78km/h was a total distance driven of 6630 km. This is 1634km (33%) more than the total distance with the original service time parameter. Given this, I say that the biggest impact on the output of the model is the setting of service time.

Improvements

As I’ve mentioned before, to improve the model one would like to know how accurate the expert’s advice is. This can be done by testing the model this summer, which I intend to do. Additionally, to improve the accuracy for each site one would need to involve more parameters to adapt the Service time, while risking to make the model less user friendly and more uncertain; error propagation. (Crosetto, Tarantola & Saltelli 2000).

ArcGis vs Qgis and ModelBuilder

I wanted to perform the project with help from the FOSS Qgis but when examining the possibility to solve VRPs there I found that it seemed much more complicated. From what I found you could only solve routing from point A to point B with some stops along the way, I found no “true” solution to VRP’s. I therefore settled with Esri’s Arc Map given the time limit and my basic ArcGis knowledge it seemed the best way to execute this project on time.

I’ve met some obstacles on the way and the frustration at points have made me ask what am I doing. This is an important lesson for me, that question I will continue to ask myself often, because at times I found myself trying to solve problems that was not necessary, they could easily be worked around. Just take a step back, observe my project plan again and figure out what to do next.

The best thing about ModelBuilder is that you get your work documented and can get a good overview of the task. I still have one missing link in the model which can be solved with python script, but I haven't managed yet. The error messages with coding and description as well as the integrated help, has been key to succeeding this project.



Figure 1 Closest facility, Road map © Lantmäteriet

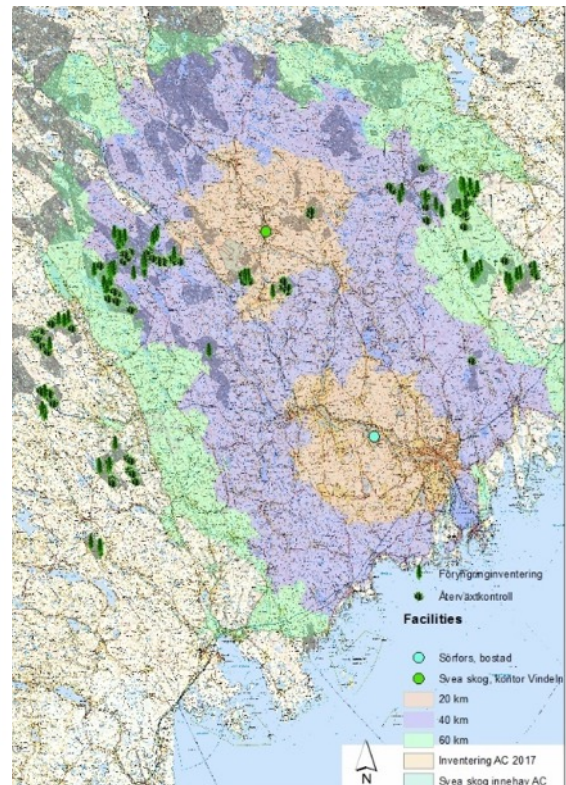


Figure 2 Service time, Road map © Lantmäteriet

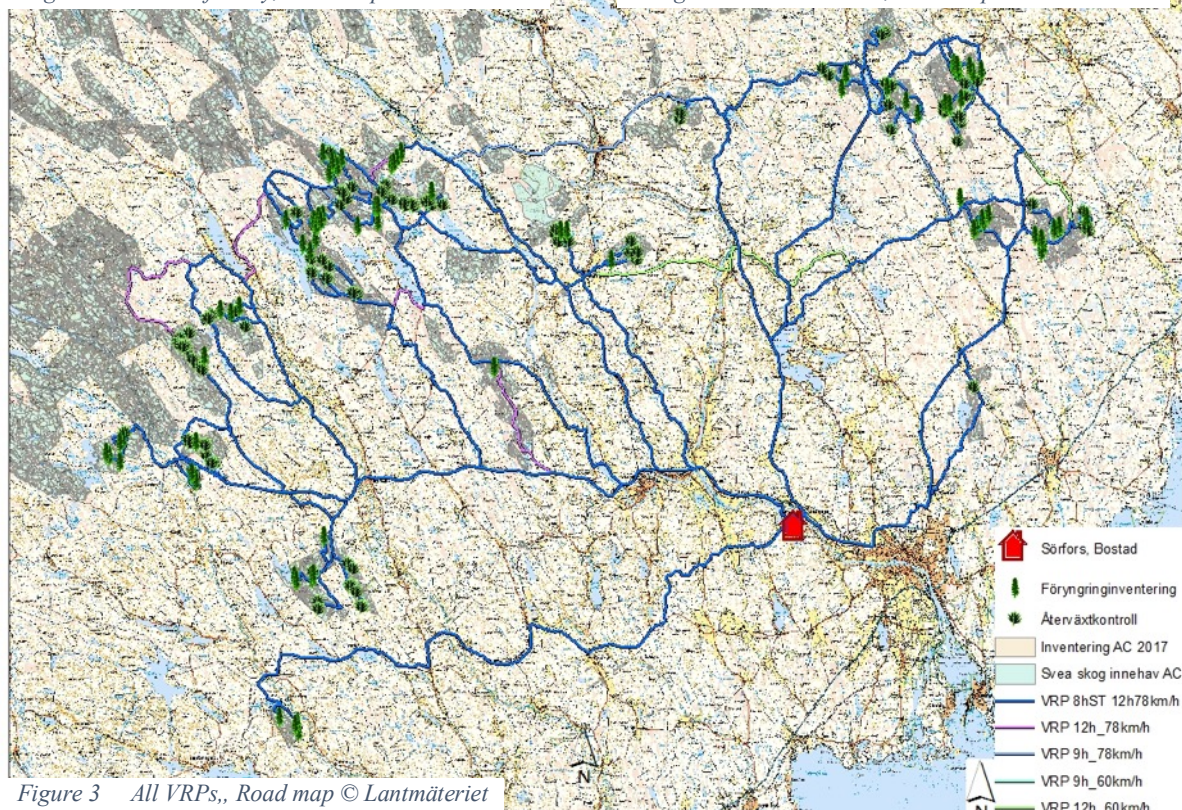


Figure 3 All VRPs, Road map © Lantmäteriet

References

Pop, PCV 2012, Generalized Network Design Problems, De Gruyter, Berlin/Boston. Available from: ProQuest Ebook Central. [28 May 2017].

Crosetto, Michele, Tarantola, Stefano & Saltelli, Andrea. (2000). Ispra, Italy: European Commission, Joint Research Centre, Institute for Systems Informatics and Safety (Agriculture, Ecosystems and Environment 2000:81 p. 71–79)

Further reading

- [1] M. Fischetti, J. J. Salazar and P. Toth, The symmetric generalized traveling salesman polytope, *Networks*, Vol. 26, pp. 113– 123, 1995.
- [2] M. Fischetti, J. J. Salazar and P. Toth, A branch-and-cut algorithm for the symmetric generalized traveling
- [3] G. Laporte, A. Asef-Vaziri and C. Sriskandarajah, Some applications of the generalized traveling salesman problem, *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 47(12), pp. 1461– 1467, 1996.
- [4] G. Laporte and Y. Nobert, Generalized Traveling Salesman through n sets of nodes: an integer programming approach, *INFOR*, Vol. 21(1), pp. 61– 75, 1983.
- [5] G. Laporte and I. H. Osman, Routing Problems: A bibliography, *Annals of Operations Research*, Vol. 61(1), pp. 227– 262, 1995.
- [6] M. O. Ball, T. L. Magnanti, C. L. Monma, G. L. Nemhauser (Eds.), *Network Routing*, *Handbooks in Operations Research and Management Science* 8, Elsevier, Amsterdam, 1995.

Appendix

